

POLÍTICAS PÚBLICAS PARA REDES INTELIGENTES

Nivalde J. de Castro
Guilherme de A. Dantas
(org.)



GESEL
Grupo de Estudos do Setor Elétrico
UFRJ



Políticas Públicas para Redes Inteligentes

Copyright© 2016 EDP
Título Original: Políticas Públicas para Redes Inteligentes

Editor

André Figueiredo

Editoração Eletrônica

Luciana Lima de Albuquerque

U58 Universidade Federal do Rio de Janeiro. Grupo de Estudos do Setor Elétrico
Políticas públicas para redes inteligentes / GESEL. — Rio de Janeiro: Publit,
2016.

368 p. : il. ; 23 cm.

ISBN 978- 85-7773-939-4

Inclui bibliografia.

1. Redes elétricas inteligentes. 2. Energia elétrica – distribuição - Brasil. I.
Título.

CDD 621.31

CDU 621.311.1

PUBLIT SOLUÇÕES
EDITORIAIS

PUBLIT SOLUÇÕES EDITORIAIS

Rua Miguel Lemos, 41 salas 711 e 712

Copacabana - Rio de Janeiro - RJ - CEP: 22.071-000

Telefone: (21) 2525-3936

E-mail: editor@publit.com.br

Endereço Eletrônico: www.publit.com.br

Apresentação

Um setor em transformação

O Setor de Energia Elétrica vem passando por profundas mudanças, atravessando a maior revolução tecnológica desde a sua criação, após um longo período sem grandes alterações. Esta transformação iniciou-se com o investimento na automação de redes, fruto de um aumento da pressão pela melhoria na qualidade de serviço, estando a evoluir para uma mudança na forma de relacionamento e interação com o cliente. Estas mudanças estão trazendo novos desafios para os consumidores, que passarão a ser também produtores e a ter mais acesso à informação sobre a forma como consomem energia; e para as Empresas, que terão de lidar com uma cada vez maior volatilidade na produção e no consumo de energia.

As tecnologias de geração descentralizada passarão a ter um peso crescente no mix de tecnologias; os consumidores serão, cada vez mais, micro geradores e micro armazenadores; e a capacidade ociosa nas redes constituirá um problema transitório, mas expressivo para os reguladores. A penetração de tecnologias de geração intermitentes lança desafios de complementaridade e flexibilidade para acomodar a intermitência e volatilidade dessas tecnologias de produção, colocando uma maior pressão sobre os operadores de rede, que terão de investir em automação para assegurar a qualidade de serviço e acomodar a intermitência de consumo e produção.

A avaliação da viabilidade da migração tecnológica do atual estágio das empresas de distribuição para o conceito de “Smart Grid”, relativamente à avaliação custo-benefício na ótica da concessionária de distribuição, é difícil de justificar caso os investimentos não sejam incorporados na base de remuneração ou não estejam associados à possibilidade de desenvolvimento de novos serviços e novas fontes de receita, sem que esses ganhos sejam incorporados na modicidade tarifária, ajudando a rentabilizar os investimentos necessários.

Novo paradigma de redes

As Redes Elétricas Inteligentes contemplam sistemas de automação avançada, medição inteligente e recursos energéticos distribuídos que, de um lado oferecem funcionalidades que atendem objetivos específicos e, de outro, requerem infraestrutura adequada de telecomunicações e de TI. A evolução tecnológica dos medidores com uma maior disponibilidade de trocas de informações com o consumidor torna possível incluir alguns *drivers* de preço do serviço de transporte como localização, qualidade, segurança, hora de utilização, entre outros. O cliente deixa de ser passivo e torna-se um “agente” ativo no negócio da distribuição.

Outra questão importante está relacionada com a vida útil dos novos ativos de rede. Os ativos (regulados) “inteligentes” possuem uma vida útil na ordem dos 10 anos (ou menos), e não os 25 ou 30 tradicionais, pois são equipamentos eletrônicos que para além de ficarem obsoletos possuem menor resistência às condições climáticas. Isto significa maior taxa de substituição, com consequentes impactos tarifários que daí poderão decorrer.

Uma visão de longo prazo para o setor

Com a rapidez na mudança de paradigma do papel da distribuidora imposta pela entrada de *players* “não tradicionais”, é muito importante que exista uma visão de longo prazo para o setor que assegure uma estabilidade regulatória que incentive a transição para o novo paradigma, de uma forma equilibrada e estável. É assim necessário que os agentes do setor trabalhem numa visão de médio/longo prazo para o setor e nos necessários ajustes à regulamentação.

As empresas distribuidoras estão a desenvolver, em diferentes escalas e tempos de implantação, projetos piloto e provas de conceito em Redes Elétricas Inteligentes. Os resultados a serem alcançados em tais pilotos dependerão de inúmeros fatores ligados às amostras escolhidas, tamanho da rede piloto, distúrbios e eventos na rede (defeitos, sobrecargas, etc.), dentre outros. Tais projetos deverão nortear e amadurecer o conhecimento das empresas neste novo paradigma bem como permitir aos reguladores testar e discutir o framework regulatório necessário para assegurar esta transição.

Políticas públicas de incentivo

A difusão de redes inteligentes não é apenas uma inovação tecnológica, mas uma transição tecnológica. Neste contexto, a análise das variáveis tecnológicas que surgem neste processo é necessária, e os interesses das diferentes partes interessadas envolvidas no processo devem ser considerados. As características técnico-econômicas do setor elétrico (capital intensivo, produtos diferenciados,

tarifas reguladas, demanda quase inelástica, necessidade de equilíbrio instantâneo entre oferta e demanda, etc.) não fazem com que o processo de inovação ocorra endogenamente à dinâmica do setor. Portanto, a definição de políticas públicas é necessária para fomentar este processo e assegurar os incentivos corretos à migração para o novo paradigma.

Tanto na questão da geração em pequena escala (geração distribuída e micro geração) como na maciça introdução de tecnologias de medição, controle e automação da rede “Smart Grid”, existe uma preocupação mundial com a remuneração das redes, colocando questionamentos sobre a sua viabilidade econômica no futuro e sobre uma possível quebra de paradigma do “negócio” distribuição de energia elétrica.

A complexidade do estudo das tecnologias de inovação e políticas de incentivo associadas decorre, principalmente, da necessidade de ter em conta aspectos de natureza distinta (tecnológico, econômico, financeiro, social, regulatório), vários deles de natureza intangível, nos modelos de avaliação.

O projeto EDP

O projeto da EDP, vinculado ao Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL, “Avaliação de Políticas e Ações de Incentivo às Inovações Tecnológicas no Setor Elétrico: análise da experiência internacional e propostas para o Brasil”, tratou da sistematização de forma hierarquizada das principais políticas de incentivos ao desenvolvimento de redes inteligentes, tendo como objetivo específico identificar as políticas mais “custo efetivas” aplicáveis ao Setor Elétrico Brasileiro. É no contexto deste projeto que foi elaborado o presente livro.

Para que esta análise seja possível, além da argumentação teórica, são apresentados estudos de casos do desenvolvimento de redes inteligentes em diversos países.

Conclusão

O caminho futuro depende de um equilíbrio de fatores, que passa por uma Regulação adequada à transformação em curso, garantindo os incentivos certos para que esta transformação aconteça; pela evolução do papel da Distribuidora na operação do sistema, na gestão de informação e na facilitação do mercado; pelo envolvimento crescente dos Consumidores; e por uma abordagem holística que integre os requisitos dos diferentes *Stakeholders*. Com isso é possível desenvolver um setor energético ágil, robusto e competitivo que contribua ativamente para o desenvolvimento do Brasil.

Miguel Setas

Diretor Presidente da EDP Energias do Brasil

Sumário

| | |
|---|------------|
| Prefácio..... | 9 |
| Introdução | 11 |
| 1 – Políticas Públicas de Ciência, Tecnologia e Inovação..... | 15 |
| Ricardo Thielmann, Renata Lèbre La Rovere | |
| 2 – A Relevância da Abordagem de Sistemas de Inovação para a Área de Energia Elétrica | 49 |
| José E Cassiolato e Maria Gabriela Podcameni | |
| 3 – Transição do Setor Energético para uma Economia de Baixo Carbono ... | 81 |
| António Gomes Martins, Patrícia Pereira da Silva | |
| 4 – <i>Smart grid</i>: Uma Visão da Regulação | 105 |
| Jorge Esteves, Hugo Pousinho, Paulo Oliveira, Pedro Roldão, Sérgio Faias, Vítor Marques, Alexandre Santos, Vítor Santos | |
| 5 – Estruturação do Problema e Definição de Critérios para Avaliação de Políticas de Apoio à Inovação em Redes Elétricas | 129 |
| Carlos Henggeler Antunes, Luís C. Dias | |
| 6 – Desenvolvimento de Redes Inteligentes no Brasil: abordagem a partir da Perspectiva Multinível..... | 159 |
| Nivalde J. de Castro, Guilherme de A. Dantas, Roberto Brandão, Caetano Penna, Lucca Zamboni | |
| 7 – Políticas ‘Impositoras’ de Tecnologia e a Difusão de Redes Inteligentes no Brasil..... | 195 |
| Caetano C. R. Penna | |
| 8 – Políticas Públicas de Incentivos a <i>Smart Grid</i>..... | 217 |
| André Luis da S. Leite e Mayara Teodoro de Oliveira | |
| 9 – Status Atual e Perspectivas das <i>Smart Grids</i> na Alemanha..... | 235 |
| Pedro Vardiero, Rubens Rosental, Paola Dorado, Maria Alice E. de Magalhães | |

| | |
|---|------------|
| 10 – O Estado da Arte do Desenvolvimento e Implementação de Tecnologias de <i>Smart Grids</i> na França: uma reflexão a partir da abordagem de Sistemas Tecnológicos | 257 |
| Laura Caufour, João Felipe Cury Marinho Mathias | |
| 11 – O Desenvolvimento e a Implantação de <i>Smart Grids</i> na Califórnia: Uma Reflexão Histórico-Analítica | 301 |
| João Felipe Cury Marinho Mathias, Erika Celene Sanchez Rodriguez | |
| 12 – O Pioneirismo Italiano | 337 |
| Ana Luisa S. Mendes, Pedro Vardiero, Rubens Rosental, Maria Alice E. de Magalhães | |
| Organizadores | 357 |
| Autores | 358 |

Projeto P&D EDP Políticas Tecnológicas

PREFÁCIO

A batalha entre os geniais Thomas Edison (1847-1931) e Nikola Tesla (1856-1943) condicionou o desenvolvimento dos sistemas elétricos e colocou a eletricidade em patamar industrial, com amplitude planetária. Tão relevante foi o sucesso dos trabalhos de ambos que é difícil conceber a vida moderna sem a eletricidade e os serviços que sua disponibilidade viabilizou.

Não é exagero afirmar que, desde essa grande disputa, nada mais revolucionário ocorreu no plano técnico na estrutura da indústria da energia elétrica.

É fato que avanços tecnológicos importantes e não negligenciáveis ocorreram tanto na produção quanto no consumo de energia. De um lado, são notáveis os ganhos de rendimento na termoeletricidade e, mais recentemente, na conversão das energias eólica e fotovoltaica. De outro, os equipamentos modernos produzem o mesmo serviço com um gasto de energia progressiva e sensivelmente menor.

Contudo, até hoje, a estrutura dos sistemas elétricos é basicamente a mesma desde quando se pacificou a lide entre os dois gênios. A energia é produzida de forma concentrada e em larga escala, é transmitida por meio de linhas de alta voltagem e, então, se faz o rebaixamento da tensão e sua distribuição para o consumo final. A todo instante, a quantidade de energia produzida deve ser igual ao montante consumido, não obstante os progressos técnicos no campo do armazenamento da eletricidade.

Mas, ousar dizer que estamos agora no limiar de uma transformação tão relevante e revolucionária na estrutura dos sistemas elétricos como foi a transformação na vida das pessoas que Edison e Tesla proporcionaram.

Penso que cabe uma analogia com as mudanças havidas no setor de telecomunicações. Até um tempo nem tão distante assim, as transmissões televisivas eram feitas pelo ar. E as comunicações telefônicas dependiam de cabos. Hoje, é literalmente o inverso. E tal foi a transformação que, por vezes, tenho dificuldade em convencer os mais jovens que nem sempre foi possível portar o telefone

no bolso e tão pouco era possível transmitir voz, dados e imagens com tanta facilidade para qualquer lugar do globo.

Nos sistemas elétricos ocorrerá algo semelhante. Entre outras inovações, a geração de energia, hoje ainda concentrada, será distribuída. O consumidor produzirá sua própria energia e poderá armazená-la para consumir quando mais lhe aprouver. Um consumidor poderá “enviar” energia para outro. E as funções da rede elétrica se ampliarão, vale dizer, não se prestarão somente à transmissão de energia.

O potencial que certas inovações tem de revolucionar a vida das pessoas deve ensejar, por certo, preocupações com a ambiência regulatória. Se isso é verdade em setores relativamente menos complexos, revela-se vital no setor elétrico, em que o comportamento de um agente, seja ele um produtor, um consumidor ou, mais modernamente, um “prossumidor”, pode afetar o desempenho de outro.

E ainda, a despeito das tendências da globalização, claro é que, no trato de toda essa problemática, não se pode perder de vista a realidade econômica, social e cultural da sociedade para a qual esses serviços se destinam, embora as experiências de outros sistemas devam ser consideradas, até porque delas podem ser extraídas lições valiosas.

Nesse contexto, não é difícil imaginar quão importante é o papel da tecnologia e da inovação na preparação e na adaptação do mundo de hoje a essa futura realidade. Também não é difícil imaginar como as redes elétricas precisarão se tornar mais inteligentes, de modo a permitir uma interação, ainda não possível na escala que será requerida e desejada, entre prestadores e tomadores do serviço de eletricidade.

Assim sendo, decorre natural, oportuno e necessário mapear e discutir políticas públicas para o desenvolvimento de redes inteligentes. Por isso mesmo, merece vivas e aplausos a sinalização positiva da ANEEL para a execução do projeto consolidado nesta publicação, realizado com recursos do Programa de P&D da EDP. E mais ainda quando a qualidade do trabalho é garantida pela assinatura do GESEL.

Pela seriedade e alta qualidade de outros trabalhos que conheço do prof. Dr. Nivalde de Castro, que coordenou o projeto, não posso deixar de parabenizar sua organização pelo elevado nível das discussões proporcionadas pelo projeto. Sem dúvida, temos aqui uma contribuição importante para o enfrentamento das transformações relevantes que estão por vir no setor elétrico.

Amílcar Guerreiro
Diretor da EPE

Introdução

A realização de inovações tecnológicas na rede elétrica visa reforçar e expandir as infraestruturas dos sistemas elétricos, vide a necessidade de atender à demanda com segurança e qualidade. Trata-se de uma dinâmica complexa que deve ser analisada sob diferentes perspectivas. Soma-se a esta complexidade, os desafios da crescente inserção de fontes renováveis e intermitentes. Não obstante, em alguns casos também é possível notar a presença de outros importantes desafios, dentre os quais, a busca pela redução de perdas, o gerenciamento de picos de carga e o abastecimento de veículos elétricos.

É notório que que a promoção e estruturação de um sistema elétrico sustentável e confiável têm como importante *driver* o desenvolvimento de redes inteligentes associadas com medidas de gerenciamento da demanda, difusão da mobilidade elétrica, aumento da geração distribuída (especialmente microgeração) e introdução de sistemas de armazenamento. Ao mesmo tempo, é perceptível a necessidade de diretrizes regulatórias compatíveis com o paradigma energético emergente e que possibilitem o desenvolvimento de novos modelos de negócios.

Em linhas gerais, é possível afirmar que a disseminação de redes inteligentes em sentido estrito (automação da rede + medidores inteligentes) consiste em um elemento central na dinâmica de transformação do setor elétrico. Embora tais redes não sejam um fim em si próprio, as mesmas criam condições necessárias para que os sistemas elétricos se tornem mais distribuídos sem que isso comprometa a segurança do suprimento e, ao mesmo tempo, possibilitam que os consumidores possuam um comportamento mais ativo na gestão da demanda por energia.

Observa-se que a difusão de redes inteligentes não representa uma mera inovação tecnológica. Trata-se de uma de Transição Tecnológica. Neste sentido, é necessário o exame das variáveis presentes no processo evolutivo em questão. Em análises deste tipo, o enfoque não pode estar restrito às variáveis tecnológicas, sendo imperativa a consideração do ambiente organizacional, das instituições

envolvidas e, especialmente, dos interesses dos diferentes agentes envolvidos no processo.

Concomitantemente, é preciso ressaltar que as características tecno-econômicas do setor elétrico (capital-intensivo, produto indiferenciado, tarifas reguladas, demanda inelástica, necessidade de equilíbrio instantâneo entre oferta e demanda, etc) não induzem que o processo de inovações ocorra de forma endógena à dinâmica do setor. Logo, é perceptível a necessidade da adoção de políticas públicas.

A experiência internacional indica a existência de inúmeros países que estão adotando políticas de incentivos à introdução e difusão de tecnologias inovadoras no setor elétrico. Estas políticas incluem medidas pelo lado da oferta (*technology push*), tais como, incentivos à promoção de projetos de pesquisa e desenvolvimento, incentivos fiscais aos produtores de equipamento e linhas de financiamento subsidiadas para investimentos na indústria, assim como, políticas pelo lado da demanda (*demand pull*), como, por exemplo, os mandatos compulsórios de aquisição de medidores inteligentes e créditos fiscais para a compra de veículos elétricos. Além disso, é notória a importância de alterações nos arcabouços institucional e regulatório, visando à criação de um ambiente propício a estas inovações.

A elaboração de um estudo comparativo das políticas que vem sendo adotadas para incitar o desenvolvimento de redes inteligentes é uma tarefa complexa. Esta dificuldade advém da necessidade de contemplar nos modelos analíticos aspectos de natureza distintas em diferentes esferas (tecnológica, econômica, financeira, social, regulatória), sendo muitas das variáveis envolvidas de natureza intangível. Nota-se que estes modelos devem permitir contemplar explicitamente múltiplos critérios de avaliação das políticas de acordo com as diferentes perspectivas dos potenciais agentes de decisão, de modo a auxiliar processos bem informados de apoio à tomada de decisões.

O projeto de P&D “Avaliação de Políticas e Ações de Incentivo às Inovações Tecnológicas no Setor Elétrico: análise da experiência internacional e propostas para o Brasil”, vinculado ao Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL, tratou da sistematização de forma hierarquizada das principais políticas de incentivos ao desenvolvimento de redes inteligentes, tendo como objetivo específico identificar as políticas mais “custo efetivas” aplicáveis ao Setor Elétrico Brasileiro. É no contexto deste projeto que foi elaborado o presente livro.

O objetivo deste livro é examinar a dinâmica de inovações no setor elétrico, especialmente no âmbito de redes inteligentes, e a necessidade da elaboração políticas públicas para que tais inovações efetivamente ocorram. Para que esta análise seja possível, além de argumentação teórica, são apresentados estudos de casos do desenvolvimento de redes inteligentes em diversos países.

O livro é composto de 12 capítulos. O Capítulo 1 é dedicado à discussão acerca das relações existentes entre políticas públicas, ciência, tecnologia e inovações. Por sua vez, o Capítulo 2 trata de inovações no setor elétrico com base no arcabouço teórico dos Sistemas de Inovação. Na sequência, os capítulos 3 e 4 abordam, respectivamente, a necessidade do setor energético se alinhar com a economia de baixo carbono e como a regulação observa o desenvolvimento de redes inteligentes. Já o Capítulo 5 apresenta uma metodologia analítica para o exame de políticas de apoio à inovação no setor elétrico.

Os capítulos subsequentes contemplam análises mais aplicadas. Observa-se assim que o Capítulo 6 trata do status atual e as perspectivas de redes inteligentes no Brasil. Este capítulo também realiza a proposição de algumas políticas públicas a serem implementadas com vistas ao desenvolvimento de redes inteligentes no sistema elétrico brasileiro. Com o objetivo de complementar o Capítulo 6, o Capítulo 7 aborda especificamente a importância das políticas públicas para o desenvolvimento de redes inteligentes no Brasil. Na sequência, a partir da experiência britânica, o Capítulo 8 ressalta a importância das políticas públicas para a implementação de redes inteligentes. Já os capítulos 9,10,11 e 12 abordam, respectivamente, as experiências alemã, francesa, da Califórnia (EUA) e italiana.

1

Políticas Públicas de Ciência, Tecnologia e Inovação

Ricardo Thielmann, Renata Lèbre La Rovere

Resumo

A definição de políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação (C,T&I) vem sofrendo modificações ao longo do tempo. Antes limitadas ao fomento à ciência e tecnologia e orientadas pelo chamado processo linear de produção do conhecimento, estas políticas passaram gradativamente a adotar uma visão mais integrada do processo de produção de conhecimento e a incluir o fomento à inovação no final do século XX. O objetivo deste capítulo é mostrar como se deu este processo e refletir sobre os desafios que a definição de políticas de C,T&I atualmente colocam para países emergentes como o Brasil. Foi possível constatar que as políticas públicas de apoio a Ciência, Tecnologia e Inovação nos países desenvolvidos evoluíram de uma visão linear para uma visão sistêmica: antes centradas no fomento às atividades de ciência e tecnologia, as políticas progressivamente incorporaram o objetivo de fomento à inovação à medida que a visão sistêmica foi se consolidando.

Introdução

O que motivou o desenvolvimento desse capítulo é a possibilidade de demonstrar o importante papel desempenhado pelas políticas de apoio a ciência, a tecnologia e a inovação como forma de produzir o desenvolvimento econômico e social de uma nação.

O objetivo desse capítulo é mostrar como se deu a integração do processo de produção do conhecimento e o fomento à inovação no final do século XX e possibilitar uma reflexão sobre os desafios que a definição de políticas de C,T&I atualmente colocam para países emergentes como o Brasil. Para alcançar esse objetivo foi realizada uma revisão bibliográfica que procurou responder a questões como: quais são os principais conceitos sobre ciência e tecnologia? Como se apresentou o modelo linear de produção de inovações? Como está desenhado o modelo em quatro dimensões da produção de inovações? O que é a inovação e como ela se acontece nas organizações? Qual o papel das políticas

públicas de C,T&I para o desenvolvimento? Quais os desafios para o Brasil a partir dos novos modelos de C,T&I?

A Seção 1 apresenta os conceitos e modelos de Ciência e de Tecnologia que fundamentam as políticas. A seção 2 aponta a importância da inovação enquanto objetivo de política. A seção 3 mostra como as políticas evoluíram de uma visão centrada em Ciência e Tecnologia para uma visão centrada em Ciência, Tecnologia e Inovação, e a seção 4 discute se de fato esta visão prevalece no caso brasileiro, tecendo as considerações finais do capítulo.

1.1 - Ciência e Tecnologia: conceitos e modelos

A ciência pode ser definida como um conjunto de conhecimentos sistematizados adquiridos via observação, identificação, pesquisa e explicação de determinadas categorias de fenômenos e fatos, formulados através de um método. No mundo ocidental, a visão clássica de ciência, proposta pela tradição grega, postulava a superioridade do conhecimento científico sobre o conhecimento técnico. Esta visão começou a mudar no momento em que alguns filósofos naturais europeus, e em especial Francis Bacon, se dispuseram a ver a ciência como um meio de controlar, e não somente de entender, a natureza (STOKES, 2005). Passou-se, então, para uma visão mais utilitarista da ciência e da sua aplicação prática, com foco principalmente na engenharia das coisas. Porém, até aquele momento, ainda não havia uma institucionalização da separação entre a ciência pura e a ciência aplicada.

Somente a partir do século XIX, ocorreu a separação clara entre ciência básica e ciência aplicada (tecnologia) proposta originalmente por Francis Bacon, devido às mudanças no cenário científico e tecnológico. Algumas constatações históricas ajudam a fundamentar esta argumentação. Dentre elas, salienta-se que, muitos dos progressos científicos realizados na Revolução Industrial foram feitos por “não cientistas”, na concepção mais clássica da palavra. Neste período “o papel do tecnólogo mudou de forma significativa, à medida que a ciência começou a ter uma influência direta sobre a tecnologia” (STOKES, 2005). Houve um aumento da consciência de que a inovação tecnológica dependeria cada vez mais de processos industriais fundamentados em métodos científicos. Neste momento, surgem as primeiras escolas técnicas na França (*École Polytechnique*) e na Alemanha (*Technische Hochschulen*).

A institucionalização deste novo modelo foi realizada, inicialmente, pelos alemães, quando transformaram “as suas universidades em um ambiente sem paralelo para a investigação científica original [...]” (STOKES, 2005), com o desenvolvimento de novos formatos de aprendizado (aulas de especialistas, seminários de pesquisa, experiências de laboratório, estudos monográficos), criação

de novas disciplinas e surgimento de novas universidades. Com isso foi possível aumentar a ligação entre as metas de entendimento e de uso da pesquisa. As universidades ajudaram no desenvolvimento das ciências básicas e os colégios técnicos e industriais (*Technische Hochschulen*) preparavam profissionais para a indústria, estabelecendo de vez uma institucionalidade que fortaleceu a distinção entre ciência pura e aplicada, ao mesmo tempo em que fortaleceu a ideia de que o progresso tecnológico está atrelado ao desenvolvimento científico.

Os Estados Unidos, que já possuíam no século XIX uma forte preocupação com o desenvolvimento das tecnologias, começaram também a se preocupar com o desenvolvimento científico. Para isso começaram a enviar seus bacharéis para a Alemanha com o objetivo de estudarem nas universidades de pesquisa e levarem o modelo alemão para os Estados Unidos. Com isso começaram a emergir novas escolas científicas nas universidades já existentes como Harvard (1636), Yale (1640), Princeton (1746), e a criação de novas universidades como Cornell (1865), Johns Hopkins (1876), Clark (1887), Stanford (1891) e Chicago (1892). Essas mudanças deram um forte suporte institucional à visão das universidades como centros de ensino e de pesquisa original em ciência pura. Com o decorrer do tempo os Estados Unidos passaram a fortalecer o desenvolvimento da ciência pura, autônoma e financiada com recursos federais (STOKES, 2005).

O advento da II Guerra Mundial e a constatação que a Alemanha já possuía uma estrutura institucional, que permitia o desenvolvimento tanto de ciência básica quanto de ciência aplicada, levaram os Estados Unidos a fortalecer o seu arranjo institucional, criando o *Office of Scientific Research and Development* presidido por Vannevar Bush. Com o final da II Guerra, Bush percebeu a necessidade de que, os recursos fornecidos pelo governo, para financiar a pesquisa básica voltada para a guerra, continuassem sendo disponibilizados. Foi então que, em julho de 1945, Bush enviou seu relatório, intitulado *Science, the Endless Frontier*, para o presidente americano. De uma forma geral, o relatório de Bush e seus companheiros pretendiam atingir dois grandes objetivos: a) manter o apoio federal à ciência básica e b) restringir drasticamente o controle do governo sobre a realização das pesquisas (STOKES, 2005). Neste relatório, Bush propõe um modelo de produção de conhecimento que pode ser descrito pela Figura 1 abaixo:

Figura 1 - Processo Linear de Produção de Conhecimento



Fonte: Thielmann (2014).

Este modelo está baseado na crença de que os progressos científicos são convertidos em utilizações práticas por meio de um fluxo dinâmico que vai da ciência (pesquisa básica) à tecnologia. (STOKES, 2005). Este fluxo enfatiza que os progressos da ciência são a principal fonte da inovação tecnológica. Além disso, é possível afirmar que existe uma separação entre pesquisa básica (conhecimento) e pesquisa aplicada (utilização), pois segundo esta visão somente a separação entre ambas permite que a ciência básica esteja isolada do uso prático. Segundo Bush (1945) a separação é uma lei perversa que governa a pesquisa, em que a pesquisa básica invariavelmente ‘expulsa’ a pesquisa aplicada, ou seja, a atividade de pesquisa ou pertencerá a uma ou outra dessas categorias, mas não a ambas.

A pesquisa básica é entendida, então, como um processo que procura ampliar o campo do entendimento fundamental, ou seja, procura ampliar a compreensão de fenômenos de um campo da ciência. Sua propriedade essencial é “a contribuição que ela procura trazer ao corpo de conhecimentos explicativo geral de uma área da ciência” (STOKES, 2005, p.23). São características da pesquisa básica a originalidade, a liberdade dos pesquisadores, a avaliação pelos pares dos resultados publicados e a distância no tempo entre a descoberta e a utilização prática. (STOKES, 2005).

A pesquisa aplicada volta-se para alguma necessidade ou aplicação por parte de um indivíduo, de um grupo ou da sociedade, ou seja, a pesquisa aplicada tem como objetivo reduzir o grau de empirismo de uma atividade prática.

Para Stokes (2005), porém, é muito difícil estabelecer uma separação prática entre esses dois conceitos, pois muitas descobertas feitas no século XIX e XX aconteceram quando se procurava ampliar a compreensão do entendimento de um campo e ao mesmo tempo buscava-se solucionar problemas associados a uma necessidade ou aplicação da sociedade. Ainda segundo Stokes:

[...] Ninguém mais acredita que um pesado investimento na ciência básica, pura, guiada apenas pela curiosidade, assegurará por si só a tecnologia exigida para competir na economia mundial e satisfazer toda gama de necessidades da sociedade. (STOKES, 2005, p.97).

A primeira falha da visão linear, segundo Metcalfe (2003), é que, na melhor das hipóteses, ela cobre apenas uma pequena fração das atividades envolvidas no processo de inovação. O retorno da produção de conhecimento em termos de inovação e criação de riqueza depende de uma ampla gama de outras organizações não científicas e que não desenvolvem atividades de produção do conhecimento básico. A segunda falha no modelo linear de produção refere-se à falta de distinção entre os diferentes atributos de ciência e tecnologia. Pesquisas recentes tem estabelecido claramente que a ciência e a tecnologia são dois

corpos de conhecimentos em grande parte independentes, mas mutuamente benéficos, criados por diferentes processos de acumulação do conhecimento dentro das sociedades, localizados em diferentes contextos institucionais.

Tanto ciência quanto tecnologia são conhecimentos desenvolvidos e utilizados para resolver problemas, mas os problemas abordados são diferentes e as comunidades que identificam e resolvem esses problemas respondem a diferentes mecanismos de incentivo. Em termos gerais, a ciência é naturalmente acadêmica, sua saída legítima é a adição de conhecimentos aos estoques existentes dos fenômenos naturais. A ciência tende a ser aberta, e as saídas são amplamente difundidas através de publicações científicas internacionais e os incentivos primários destas atividades são prioridade em publicação e a influência das idéias na comunidade epistêmica. Inversamente, a tecnologia tem uma natureza mais prática, seus resultados legítimos são artefatos e conhecimentos que são concebidos, construídos, operados e tem um valor intrínseco que é julgado por sua utilidade prática. Além disso, os resultados do conhecimento científico devem ser reproduzidos o que lhes garante confiabilidade. Como o conhecimento tecnológico é gerado através da aplicação de conhecimento científico, existe um componente tácito na produção de conhecimento tecnológico comunicado através da observação e experimentação. Uma conseqüência imediata desta característica repousa no fato de que a tecnologia não é apenas ciência aplicada. Ao contrário, a tecnologia é um corpo distinto de conhecimento, que vai desde o básico para o aplicado, com os seus próprios princípios de funcionamento e normas. (METCALFE, 2003).

A partir dessa constatação aconteceu de forma gradual, um colapso do consenso do pós-guerra, que privilegiava a ciência básica, nos fins dos anos 1980 do século XX. Três fatores principais contribuíram para este colapso, a saber: a) o fim da Guerra Fria; b) a integração da economia mundial; e c) a herança orçamentária da política econômica e fiscal desenvolvida anteriormente pela maioria dos países e, em especial, pelos Estados Unidos. O surgimento de um novo pacto fez-se necessário, pois existia sempre uma tensão, entre o paradigma desenvolvido por Bush e a experiência real da ciência, a qual foi reforçada à medida que as necessidades dos Estados Unidos foram se deslocando da esfera militar para a econômica. Essa visão não se colocou apenas nos Estados Unidos. Na Grã-Bretanha, já em 1993 foi publicado o Livro Branco sobre as políticas científicas e tecnológicas na qual se afirmava explicitamente que o governo não acredita que seja suficiente apenas confiar no surgimento automático de resultados aplicáveis a partir da ciência básica, que a indústria em seguida utiliza (HMSO, 1993).

Como as necessidades de recursos para o desenvolvimento da ciência básica começaram a entrar em conflito com outras prioridades, a disponibilização de recursos diminuiu e se aproximou de um estado de equilíbrio. Com isso ajustes

foram necessários e o sistema que funcionava anteriormente e evoluía sob condições de crescimento exponencial, sofreu uma ruptura.

Para Stokes (2005) a produção de conhecimento científico pode ser caracterizada por uma tabela quadripartida em células ou quadrantes. De acordo com o autor duas perguntas devem ser feitas, a saber: ‘a pesquisa é inspirada no uso?’ e ‘a pesquisa é inspirada pela busca de entendimento fundamental?’. As respostas a estas duas perguntas possibilitam a montagem do modelo desenvolvido por Stokes e apresentado na Figura 2, abaixo.

Figura 2 - Modelo Bidimensional e os Quadrantes da Geração de Conhecimentos



Fonte: Thielmann (2014).

O quadrante superior esquerdo inclui a pesquisa básica que é conduzida somente pela busca de entendimento, sem pensamentos sobre utilização prática. Stokes chama-o de ‘Quadrante de Bohr’, visto que a procura de um modelo atômico por Niels Bohr foi claramente uma viagem pura de descoberta, independentemente de uma aplicação prática. Comparando este modelo ao modelo linear proposto por Bush pode considerar que este seria o conceito de ciência pura por ele proposto (STOKES, 2005).

O quadrante no canto inferior direito inclui a pesquisa guiada exclusivamente por objetivos aplicados, sem procurar por um entendimento mais geral dos fenômenos de um campo da ciência. Stokes chama-o de ‘Quadrante de Edison’, devido à maneira estrita com que esse inventor impediu que seus colaboradores em *Menlo Park*, o primeiro laboratório de pesquisa industrial dos

Estados Unidos, perseguissem as implicações científicas mais profundas do que iam descobrindo em sua busca de um sistema de iluminação elétrica comercialmente rentável. Para Stokes, grande parte das pesquisas modernas encontra-se neste quadrante (STOKES, 2005).

O quadrante superior direito traz a pesquisa básica que busca estender as fronteiras do entendimento, mas que é também inspirada por considerações de uso. Stokes chama-o de 'Quadrante de Pasteur'. Para o autor este quadrante mereceu receber este nome tendo em vista o claro exemplo de combinação desses objetivos no direcionamento de Pasteur para o entendimento e o uso. O autor inclui aí também os trabalhos de Keynes, as pesquisas do projeto Manhattan e a física de superfícies de Langmuir (STOKES, 2005).

O quadrante inferior à esquerda, que inclui a pesquisa que não é inspirada pelo objetivo de entendimento nem pelo uso, não está vazio, isso é a prova de que temos duas dimensões conceituais e não apenas uma versão mais elegante do espectro pesquisa básica-aplicada tradicional. Este quadrante inclui todas as pesquisas que exploram sistematicamente fenômenos particulares sem ter em vista nem objetivos explanatórios gerais nem qualquer utilização prática à qual se destinem seus resultados. Pesquisas desse tipo podem ser impulsionadas pela curiosidade do investigador sobre fatos particulares (STOKES, 2005).

Esse novo modelo de vislumbrar os trabalhos científicos traz implicações para a política de ciência e tecnologia dos países. A primeira implicação está relacionada à visão incompleta do relacionamento real entre a pesquisa básica e a inovação tecnológica, proposta pelo modelo linear. Essa visão incompleta está prejudicando o diálogo entre a comunidade científica e os responsáveis pela efetiva ação das políticas públicas de ciência, tecnologia e inovação, atrapalhando a busca por um novo pacto entre ciência e governo. A nova visão proposta por Stokes busca, então, a construção de um pacto entre a ciência e o governo fundamentado em um entendimento mais claro, tanto por parte dos cientistas quanto dos agentes que fazem as políticas públicas, no papel que a pesquisa básica inspirada pelo uso tem para o desenvolvimento de tecnologias, assim como na renovação do apoio dado à pesquisa básica pura.

O modelo desenvolvido por Stokes considera uma interação complexa entre a ciência básica-aplicada e a tecnologia. Para ele, substituir o modelo linear do paradigma do pós-guerra significa entender de forma clara “[...] as ligações entre as trajetórias duais, mas semi-autônomas, do entendimento científico básico e do saber tecnológico” (STOKES, 2005, p.137).

O modelo linear considera os avanços da ciência como determinando integralmente o desenvolvimento da tecnologia. Stokes aponta que este relacionamento é muito mais interativo, com a tecnologia exercendo às vezes uma poderosa influência sobre a ciência.

A ciência frequentemente se move de um nível de entendimento já existente para um nível superior por meio de pesquisas puras em que os progressos tecnológicos desempenham um papel pequeno. De forma similar, a tecnologia com frequência desloca-se de um grau existente de capacidade para um de capacidade melhorada por meio de pesquisas com alvos estreitamente definidos, ou por meio de mudanças de projeto ou de engenharia, ou simplesmente por meio de improvisações no laboratório, processo nos quais os progressos recentes da ciência têm pouca relevância. Mas cada uma destas trajetórias é de tempos em tempos fortemente influenciada pela outra, sendo que essa influência pode acontecer em uma ou outra direção, com a pesquisa básica inspirada pelo uso atuando frequentemente no papel de ligação. (STOKES, 2005, p. 138)

Da mesma forma Brooks (1994) observou que

a relação entre ciência e tecnologia é mais bem imaginada em termos de duas correntes paralelas de conhecimentos cumulativo, as quais podem apresentar interdependências e relações laterais, mas cujas conexões internas são muito mais fortes que suas conexões transversais (BROOKS, 1994, p.479).

Segundo Stokes (2005) e Brooks (1994) a separação entre ciência e tecnologia é mais complexa do que se imagina. Pode-se dizer que os dois termos são duas vertentes paralelas de acumulação de conhecimentos, que apresentam interdependências e relações que dificultam uma separação clara entre os dois termos. A tecnologia não é apenas uma aplicação de conhecimentos científicos preexistentes, mas um corpo de conhecimentos a respeito de certas classes de eventos e atividades (ROSENBERG, 1982, 1990).

Já a tecnologia corresponde, segundo Nelson (1992), a um design ou prática específica que um conhecimento genérico proporciona para o entendimento de como ou porque as coisas funcionam, ou seja, uma vez de posse das razões de ser da atividade e do fenômeno, a ciência propõe um retorno à ação concreta tendo como base um conjunto de instrumentos intelectuais, lógicos e descritivos, resultantes da decomposição e da sistematização. Este retorno à ação, à técnica, é feita de modo lógico. Usando os termos gregos, é a *techne* que se torna *logos*, ou seja, tecnologia. Trata-se, portanto, de um conhecimento “de técnicas, métodos e projetos que funcionam, e que funcionam de maneiras determinadas e com consequências determinadas, mesmo quando não se possa explicar exatamente por que” (ROSENBERG, 1982, 1990).

Ainda segundo Rosenberg (1982) o conhecimento tecnológico pode ser influenciado e receber contribuições do conhecimento científico, porém ele se dá mais presente pela acumulação constante de conhecimentos a respeito de

uma ampla gama de atividades produtivas. A tecnologia tem servido como um imenso repositório de conhecimentos empíricos a serem analisados e avaliados pelos cientistas. O desenvolvimento das tecnologias na verdade tem desempenhado um papel de agente catalisador na formulação da agenda subsequente da ciência. Portanto, a agenda das políticas públicas para apoiar a ciência e a tecnologia deve estar estreitamente ligada às necessidades tecnológicas induzidas pela produção.

1.2 - Contexto da Formulação das Políticas: a importância da inovação

As políticas de ciência e tecnologia, a partir do final do século XX, passaram a incluir em seus objetivos o fomento da inovação, atividade que é cada vez mais percebida como sendo essencial para o desenvolvimento de um país.

Segundo Dosi (1988) a inovação é “a busca, a descoberta, a experimentação, o desenvolvimento, a imitação e a adoção de novos produtos, processos produtivos e estabelecimento de novas formas organizacionais”. A inovação é entendida como um conjunto de mecanismos que conduzem as organizações para o desenvolvimento de novos produtos, novos processos produtivos e a configuração de novas conformações organizacionais. Estes mecanismos são fortemente influenciados pela incerteza das atividades que compõem o processo de inovação; pela crescente interdependência das novas oportunidades tecnológicas ao crescimento do conhecimento científico; pela complexidade das atividades que envolvem o processo de inovação; pelos conhecimentos e tecnologias acumulados e dominados na organização e como se dá o processo de transferência destes conhecimentos na empresa. Estes fatores que influenciam o processo de inovação são, também, caracterizações deste processo.

As inovações, segundo a OCDE (2005a), envolvem uma série de atividades científicas, tecnológicas, organizacionais, financeiras e comerciais, as atividades de pesquisa e desenvolvimento constituem somente uma dessas atividades, e podem ser realizadas em diferentes fases do processo de inovação.

Segundo o Manual de Oslo (OCDE, 2005a), a inovação pode ser definida como:

A implementação de um produto (bem ou serviço) novo ou significativamente melhorado, ou um processo, ou um novo método de marketing, ou um novo método organizacional nas práticas de negócios, na organização do local de trabalho ou nas relações externas. (OCDE; 2005a, p. 55).

O processo de inovação abre para as firmas várias oportunidades para o crescimento e melhoria de suas vantagens competitivas. As estratégias

organizacionais estão diretamente relacionadas às trajetórias tecnológicas das firmas (PAVITT, 1987, 1990). A inovação envolve, ainda, um crescente número de múltiplos tipos de conhecimentos, incluindo-se o conhecimento de como a firma se organiza e oportunidades de mercado. Esses diferentes tipos de conhecimentos são complementados por conhecimento científicos e tecnológicos (METCALFE, 2007). A inovação é um caminho para a construção de vantagens competitivas¹, mas o inverso também é verdadeiro, ou seja, a competição leva também à inovação. Para Metcalfe (2007) os dois fenômenos são inseparáveis.

A inovação, no sentido schumpeteriano, envolve toda e qualquer criação de novos espaços econômicos (novos produtos e processos, novas formas de organização da produção e dos mercados, novas fontes de matérias-primas, novos mercados). Para Schumpeter (1997), a concorrência é caracterizada por uma visão dinâmica e evolucionária do funcionamento da economia capitalista, em que a concorrência e a inovação a ela associada têm um papel central. Essa concepção focaliza a concorrência como capaz de exercer efeitos fundamentais sobre as propriedades dinâmicas da economia, na medida em que é vista como centrada no processo inovativo em sentido amplo, ou seja, na busca permanente de lucros extraordinários mediante a obtenção de vantagens competitivas entre os agentes (empresas), que procuram se diferenciar nas mais variadas dimensões do processo competitivo (processos, produtos, organização, mercados).

A literatura faz distinção entre inovação radical e inovação incremental (FREEMAN, 1985, 1988). As inovações radicais abrem novas possibilidades de mudanças de longo prazo na tendência da taxa de crescimento econômico. Quando inovações radicais (ou básicas) ocorrem, elas rompem a estrutura econômica existente na economia. Estas mudanças levam a alterações na taxa de crescimento, que são difíceis de prever de uma maneira pormenorizada *ex ante*. As inovações incrementais estão associadas à difusão das inovações radicais em toda a economia, e dependem do contexto histórico específico e institucional. É a análise deste processo de difusão que é mais interessante do ponto de vista econômico.

Outra distinção importante a ser feita é entre inovação e imitação. A inovação não pode ser apropriada integralmente pela empresa que a desenvolve. Com o tempo, a inovação transborda para outras empresas e outras nações. Enquanto a inovação cria vantagens competitivas entre as empresas ou nações,

1 Entende-se vantagem competitiva como a criação de valor pela empresa, podendo esta criação de valor ser vista através de três abordagens distintas: a) o valor é criado por condições favoráveis de comércio nos mercados do produto, ou seja, quando as vendas, em valores monetários, forem superiores aos custos; b) o valor é revelado por retornos internos acima do normal; c) o valor é revelado através do desempenho da empresa no mercado de ações.

a imitação tende a corroer as diferenças de competências tecnológicas (FAGERBERG; VERSPAGEN, 2001).

Segundo Chakrabarti e Souder (1984) a decisão de inovar é um caminho complexo. Alguns fatores podem afetar em maior ou menor grau as decisões de investimento de inovação nas empresas. Os fatores são:

- (1) Fatores relacionados ao ambiente onde a organização está, como por exemplo, condições do mercado, condições econômicas, ambiente legal e tecnologias disponíveis.
- (2) Fatores relacionados à percepção em relação aos incentivos para as atividades de inovação como existência de mercado, oportunidades para a inovação, percepção da urgência de um novo produto/processo.
- (3) Fatores relacionados às características das firmas, como por exemplo, capacidades tecnológicas, sistema de comunicação, propensão ao risco, clima organizacional.
- (4) Fatores relacionados aos subsistemas políticos, como por exemplo, políticas de apoio à inovação, critérios para seleção de projetos, experiências anteriores com outras inovações.

Dosi (1988) corrobora essas visões ao declarar que o processo de inovação está envolvido em um conjunto de incertezas, que não se deve somente à falta de informações sobre o fato, mas advém, fundamentalmente, da “existência de problemas técnico-econômicos, cujas formas de resolução são desconhecidas e da impossibilidade de traçar de forma precisa as consequências das ações adotadas” (DOSI, 1988). Tal visão também é compartilhada por Metcalfe (2007) quando afirma que todo o investimento realizado no processo de inovação é incerto e as consequências do investimento não podem ser totalmente previstos.

Além da interdependência do progresso científico e do processo de inovação, e da complexidade deste processo em muitos casos o processo de inovação e seus melhoramentos são originários do “aprender fazendo, aprender usando”. Isto pode ser confirmado pelos estudos efetuados por Von Hippel e Tyre (1995), nos quais os autores descrevem os efeitos deste tipo de aprendizagem no processo de inovação e solução de problemas, em particular, através da identificação e do diagnóstico de problemas que afetam novas máquinas durante o seu uso no processo industrial. Os autores colocam que os ganhos obtidos no processo de acumulação de conhecimento através do “aprender fazendo, aprender usando” não são conhecidos e que os mecanismos através do qual o processo realmente acontece não estão claros; além disso, afirmam não saberem se realmente são essenciais para o processo inovação. Apesar desta dificuldade os

autores concluíram que é necessário “aprender fazendo, aprender usando” para o processo de acúmulo de conhecimento e resolução de problemas.

Outro fator importante que caracteriza o processo de inovação é a cumulatividade da atividade de inovação. Esta característica está relacionada aos seguintes fatos:

i) que apesar das variações significativas com relação às inovações específicas, parece que as direções da mudança técnica são frequentemente definidas pelo estado da arte das tecnologias já em uso; ii) é a natureza das próprias tecnologias que determinam a faixa dentro da qual produtos e processos podem se ajustar para alterar as condições econômicas e; iii) geralmente é o caso, entre outras coisas, que a probabilidade de se fazer avanços tecnológicos em empresas, organizações e países, é uma função dos níveis tecnológicos já alcançados por eles (DOSI, 1988, p.224).

A inovação é caracterizada, também, por um processo de interação entre usuários da inovação e os produtores desta inovação. É necessário visualizar o processo de inovação não mais sob o prisma da economia clássica onde existe uma mão invisível que conduz a economia e onde o foco está nas decisões que tem como base as informações adquiridas. O foco da análise está agora no processo permanente de aprendizagem baseadas nas mudanças e nos tipos de informações a disposição dos atores envolvidos nas atividades de inovação. A interação entre os diversos atores não é uma ação simples e se evidencia em diferentes estágios do processo que podem ser assim descritos:

primeiro, os usuários podem apresentar ao produtor uma necessidade específica que será satisfeita por um novo produto. Segundo, os produtores podem instalar e então implementar melhorias com a participação dos usuários dos novos produtos. Neste estágio o produtor pode oferecer treinamentos específicos para os usuários. Depois o produto terá adaptações por um dado período onde o produtor terá a obrigação de realizar adaptações nos equipamentos (LUNDVALL, 1988, p.353).

Essa relação entre usuários e produtores deve estar pautada em aspectos de confiança mútua e na inserção de ‘códigos de comportamento’, situação em que os atores envolvidos têm uma relação de ‘ganha-ganha’.

O interesse dos produtores em monitorar e ter relação com os usuários pode ser explicada por cinco motivos, a saber:

a) o processo de inovação realizado em unidades industriais dos usuários pode ser apropriado para os produtores ou pode representar uma ameaça competitiva potencial;

- b) produtos inovadores desenvolvidos por usuários podem implicar em novas demandas por processos produtivos;
- c) a produção de conhecimento através do “aprender usando” pode ser transformada em novos produtos, se os produtores têm um contato direto com os usuários;
- d) os gargalos e as interdependências tecnológicas, observadas em unidades industriais dos usuários de tecnologias, podem representar mercados potenciais para produtos inovadores;
- e) o monitoramento das competências e dos potenciais conhecimentos desenvolvidos pelos usuários podem ser de grande interesse dos produtores para verificarem as suas respectivas capacidades para se adaptarem a novos produtos. (LUNDVALL, 1988)

Por outro lado, os usuários necessitam de informações sobre novos produtos, que envolvem detalhes específicos sobre problemas que podem ocorrer nos processos e nos produtos e ainda, potenciais problemas que possam surgir, nos quais os produtores são envolvidos para ajudarem na análise e na solução dos problemas.

O processo de inovação pode ser classificado, ainda, em três categorias: padrão fluído, padrão transitório e padrão estável. Estes três tipos ou modelos diferem entre si pela ênfase competitiva que é dada à inovação, pelo estímulo que levam à inovação, pela característica dos produtos advindos desta inovação, pelas características do processo de produção, pela necessidade ou não de equipamentos automatizados, pelo tamanho da planta industrial, pela característica dos insumos utilizados e por fim pelo tipo de conformação organizacional requerida. O Quadro 1 demonstra as características das três categorias (ABERNATHY; UTTERBACK, 1982).

Quadro 1 – Características dos Padrões de Inovação

| Características | Padrão Fluído | Padrão Transitório | Padrão Estável |
|-----------------------------------|---|---|---|
| Ênfase Competitiva | Produção funcional | Variedade da produção | Redução de custos |
| Estímulo que leva a inovação | Informação dos usuários, necessidades e insumos técnicos. | Criação de oportunidades para expandir, capacidades técnicas internas | Pressão para redução de custos e melhorar a qualidade. |
| Predominância do Tipo de Inovação | Frequentemente maior mudanças nos produtos. | Inovações de processos dado o aumento do volume de produção | Melhorias acontecem de forma cumulativa em produtividade e qualidade. |

| | | | |
|-------------------------|---|---|--|
| Linhas de Produtos | Diversificada. Tem embutido um alto custo de design. | Pelo menos um produto com alto grau volume de venda. | Produtos padronizados com baixa diversificação. |
| Processos Produtivos | Flexíveis e ineficientes. Grandes alterações facilmente acomodadas. | Tornam-se mais rígidas, com as mudanças que ocorrem nas principais etapas. | Eficiente, rígido e de capital intensivo. Alto custo para que mudanças aconteçam. |
| Equipamentos | Equipamentos especializados. Exige trabalho altamente qualificado. | Alguns processos são automatizados. | Altamente automatizadas. As tarefas são monitoradas e controladas. |
| Materiais | Geralmente materiais disponíveis. | Materiais específicos | Materiais específicos. Forte Integração Vertical |
| Plantas | Pequena escala, Plantas localizadas próximas aos usuários finais. | De forma proposital com seções especializadas. O processo de produção torna-se mais rígido. Mudanças ocorrem principalmente incrementalmente. | Larga escala, produção de produtos muitos específicos e padronizados. Busca da eficiência. |
| Controle Organizacional | Informal e Empreendedor. | Através de relações de ligação, projetos e grupos de tarefas. | Forte ênfase na estrutura, nos objetivos e papéis. |

Fonte: adaptado de Abernathy e Utterback (1982)

Mas por que o processo de inovação ocorre de forma e em taxas diferentes nas diversas empresas? Isso é facilmente explicado, quando coloca-se à luz da discussão as diferenças intersetoriais e intertemporais, que estão relacionadas com as oportunidades geradas pela inovação em cada paradigma tecnológico², do grau de apropriabilidade dos vários tipos de inovação e dos padrões de demanda que a empresa necessita, ou seja, como as empresas, que estão classificadas em um determinado setor, conseguem selecionar, utilizar e traduzir em novos produtos/novos processos uma dada inovação tecnológica, que muitas vezes pode ser um desenvolvimento científico, gerador de um novo paradigma

² Um paradigma tecnológico é um conceito proposto pelos autores neoschumpeterianos que parte de uma analogia com o conceito de paradigma científico de Thomas Khun. Trata-se de um padrão de soluções de um conjunto de problemas de ordem técnica, selecionado a partir de princípios derivados do conhecimento científico e das práticas produtivas (LA ROVERE, 2006).

tecnológico ou uma tecnologia já disponível no mercado, geradora de inovações incrementais no processo produtivo.

Pavitt (1984, 1990) identificou quatro grupos que diferem na taxa e na forma da inovação a saber: o primeiro grupo são aqueles setores compostos de empresas que são dominadas por seus fornecedores, ou seja, empresas que tem baixa capacidade de apropriação de tecnologias e onde as inovações são principalmente inovações de processos. São compradores de novas tecnologias e inovações. O segundo grupo são aqueles setores compostos de empresas intensivas em escala, ou seja, as inovações são relacionadas tanto ao processo produtivo, como aos produtos. Além disso, são desenvolvedores de suas próprias inovações com um grande número de inovações e tecnologias ligadas ao processo produtivo e gerencial. O terceiro grupo é composto de empresas que tem a sua tecnologia baseada na informação, ou seja, as inovações estão relacionadas principalmente a produtos e são caracterizadas, geralmente como pequenas empresas. O quarto grupo é composto de empresas baseadas fortemente no conhecimento científico (empresas de base tecnológica). Incluem-se aí, indústrias eletrônicas e a maioria das indústrias químicas. As inovações estão diretamente relacionadas aos novos paradigmas tecnológicos.

O Quadro 2 apresenta uma síntese das principais diferenças entre as atividades de pesquisa e de inovação, segundo Coriat e Weinstein (2002).

Quadro 2 - Síntese das diferenças entre as atividades de pesquisa e de inovação

| Diferenças | Atividade de Pesquisa | Atividade de inovação |
|--|--|---|
| Proposta | Aquisição de conhecimentos fundamentais para o desenvolvimento de teorias gerais | Desenvolvimento de artefatos específicos para o uso |
| Saídas Básicas | Conhecimento codificado em forma de artigos | Conhecimento codificado em forma de patentes |
| Habilidades e Capacidades e forma de organização | Altamente especializado em diferentes campos de pesquisa | Combinação de diferentes tipos de conhecimentos e capacidades |

Fonte: Thielmann (2014).

Coriat e Weinstein (2002) observam que a ciência e a tecnologia e suas relações acontecem como atividades institucionalizadas, ou seja, são atividades que acontecem em:

[...] sistemas duradouros de regras e convenções sociais, estabelecidas e incorporadas que estão inseridas nas relações sociais. Linguagem, dinheiro, direito, sistemas de pesos e medidas, maneiras à mesa, empresas (e outras organizações) são exemplos de instituições. Em parte, a durabilidade das instituições deriva do fato de que eles podem ser úteis para criar expectativas estáveis do comportamento das outras pessoas. Geralmente, as instituições permitem ordenar os pensamentos, as expectativas e as ações, mediante a imposição de regras consistentes de atuação dos indivíduos. Elas dependem dos pensamentos e das atividades dos indivíduos. Porém não podemos reduzir as instituições aos indivíduos (...) porque as instituições não só depende das atividades dos indivíduos, mas também constroem e moldam a forma destes indivíduos de atuarem (HODGSON, 2001, p.5).

A separação entre ciência e tecnologia não é um fato natural, mas resultado de um processo histórico causado pela divisão do trabalho e por arranjos institucionais particulares. Esses arranjos são bem conhecidos e estão baseados primeiramente na existência de organizações não corporativas e sem fins lucrativos especializadas na produção de conhecimento básico (Universidades, centros de pesquisa) e empresas industriais que possuem pesquisa e desenvolvimento, e que também adquirem capacidades para absorção de conhecimento externo que é produzido nas organizações não corporativas e sem fins lucrativos (CORIAT; WEINSTEIN, 2002).

Além disso, este arranjo institucional está baseado em uma diferenciação crítica sobre as regras do jogo que governam as diferentes instituições. Trata-se antes de tudo de conhecer qual o regime de propriedade dos diversos níveis de conhecimento científico e tecnológico. O argumento foca a sua análise na disponibilidade livre dos conhecimentos que são produzidos em universidades e centros de pesquisa públicos e sem fins-lucrativos, portanto a circulação do conhecimento científico não pode ser prejudicada (CORIAT; WEINSTEIN, 2002).

Por outro lado o conhecimento produzido pela atividade de inovação das empresas privadas deve ser protegido. Em particular, deve-se proteger os inventores, com a condição de que eles possam estabelecer a novidade, utilidade e não-obviedade de suas descobertas e, assim, desfrutar de um monopólio, via patenteamento.

Além disso, é importante salientar que na verdade, não existe uma receita pronta para se orientar no labirinto que se forma quando se fala em inovação. Segundo Arbix (2010)

os estudos indicam é que um ambiente baseado na boa qualidade dos recursos humanos, na tolerância, no fluxo contínuo de ideias e informações sem preconceitos e, fundamentalmente, amigável à ocorrência do empreendedorismo, é mais propício à inovação. Isso significa

que a inovação ocorre, sempre, em ambiente de incerteza. O conhecimento intensivo e extensivo do ecossistema da inovação ajuda a minimizar essa incerteza e os riscos associados a ela (ARBIX, 2010, p.75).

De uma forma geral, os governos e as agências governamentais responsáveis pela elaboração e implementação das políticas de ciência, tecnologia e inovação incorporaram importantes aspectos derivados dos avanços da análise teórico-conceitual e da compreensão empírica do processo de inovação, com destaque para os seguintes aspectos: a) a dimensão coletiva e interativa da inovação, com um número crescente de atores, que leva a configuração múltiplas dos sistemas de inovação e pesquisa, b) em função do contexto de cada país ou região, bem como das especificidades setoriais; a incorporação da importância das inovações organizacionais com forma de melhoria da produtividade a partir da modernização dos processos de produção de bens e serviços e pela introdução de novos sistemas de gestão; c) a importância dos direitos de propriedade intelectual, com a crescente tensão entre a busca pelo patenteamento e a ‘ciência aberta’; d) geração de práticas de colaboração formais ou informais para o compartilhamento do conhecimento; e) a importância das universidades e dos institutos de pesquisa para a produção de conhecimentos, cuja capacidade em transferir conhecimentos e tecnologias passa a ser avaliada por indicadores que medem a produtividade dos investimentos em C&T e funcionam como critérios de alocação de recursos; f) a diversificação dos instrumentos de incentivo à inovação em função dos setores de atividades, das características das empresas, do ritmo de mudanças do regime tecnológico; g) a centralidade dos recursos humanos como agentes principais da geração, captação e circulação do conhecimento; h) a distribuição espacial e a diversidade institucional das fontes de conhecimento, que levam a formas diferentes de organização do processo de inovação, com participação crescente de diversos atores como, entre outros, os usuários, as instituições de pesquisa, as empresas de consultoria, os laboratórios ou pesquisadores individuais, as firmas *spin-off* (MACULAN, 2012).

1.3 - As Políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação

As políticas de inovação desenvolveram-se como um amálgama de políticas de ciência e tecnologia. Elas tomam como dado o fato de que o conhecimento, em todas as suas formas, desempenha um papel fundamental no progresso econômico e a inovação é um fenômeno complexo e sistêmico. A abordagem sistêmica para a inovação muda o foco de política em direção a uma ênfase na interação das instituições e nos processos interativos no trabalho de criação de conhecimento e em sua difusão e aplicação. O termo sistema nacional de inovação foi cunhado para representar esse conjunto de instituições e de fluxos de

conhecimentos. Essa perspectiva teórica influencia a escolha de questões para incluir em uma pesquisa sobre inovação, e a necessidade, por exemplo, de um tratamento extensivo das interações e fontes de conhecimento. (OCDE, 2005a).

Segundo a OCDE (2005b), podem ser enumeradas três gerações de políticas de ciência, tecnologia e inovação. A primeira delas é identificada com o modelo linear de inovação. A segunda geração adota o modelo sistêmico de inovação, com o conceito de Sistemas Nacionais de Inovação (SNI). Já a terceira geração propõe uma ação mais integrada das políticas de ciência, tecnologia e inovação com outras políticas – como a industrial, a ambiental, a de educação e a de saúde, o que resulta na difícil tarefa de alinhar as agendas de diferentes pastas ministeriais.

O surgimento da nova economia, que ocorreu durante a década de 1990, está alterando relações entre ciência, tecnologia, inovação e desempenho econômico. Para as economias baseadas no conhecimento ou de aprendizagem, as interações entre diferentes atores dentro dos sistemas de inovação são fundamentais para produzir, acumular e difundir o conhecimento a fim de promover a competitividade através de mudanças tecnológicas e inovações (ARCHIBUGI; LUNDVALL, 2001; LUNDVALL; JOHNSON, 1994). O modo colaborativo de inovação sempre envolve interações³ externas entre clientes, fornecedores, reguladores e provedores de conhecimento. Essas interações são fundamentais, não só a nível nacional, mas também regional e internacional. Para Lundvall (1988) o fato relevante é que a base da inovação se dá no âmbito de uma nação, o que pressupõe o esforço local para a obtenção de capacitação como condição indispensável, num horizonte determinado, à produção local de inovações. Isto só pode ser obtido pela definição de uma política Industrial e de Ciência e Tecnologia que articule os diversos atores e instituições envolvidos no processo de produção e de inovação.

As abordagens mais modernas apregoam que deve existir uma ação mais integrada das políticas de ciência, tecnologia e inovação com outras políticas, conforme já mencionado anteriormente. No centro dessa abordagem está o conceito da Economia Baseada em Conhecimento (EBC), desenvolvido principalmente por autores como Lengrand (2002) e amplamente aceito pela OECD (2005a). Essa abordagem de terceira geração está ancorada em três principais características da Economia Baseada em Conhecimento, a saber: a) a emergência dos serviços e intangíveis; b) o rápido desenvolvimento das tecnologias de

3 A interação inclui todos os tipos de contribuição para a inovação, mesmo que consideradas contribuições menores como, por exemplo, a troca de ideias. As interações são blocos de construção para a colaboração, embora neste contexto a colaboração tenha um sentido mais restrito, ou seja, significa trabalhar em conjunto para alcançar um objetivo comum.

informação e de comunicação e da Sociedade da Informação; c) e os novos papéis do conhecimento, do aprendizado organizacional e dos recursos humanos.

Note-se, ainda, que o processo de geração de inovações não se baseia apenas em pesquisa, desenvolvimento e em tecnologia, mas também em habilidades gerenciais e mercadológicas, bem como em conhecimento organizacional, social, econômico e administrativo. Como os tipos e fontes de conhecimentos requeridos para inovações de maior porte tornam-se mais diversas, há mais ênfase na colaboração e também uma tendência de as inovações serem produzidas por uma rede de atores, ao invés de serem desenvolvidas por indivíduos ou organizações autônomas. Recentemente, com a crescente importância do setor de serviços nas economias, organizações, como a OECD, reconhecem a necessidade de ampliar-se o escopo do estudo sobre a inovação. Assim, a terceira edição do Manual de Oslo, que serve de guia para a elaboração de pesquisas de inovação em todo o mundo, removeu o termo “tecnológico” das definições de inovação e passou a incorporar os conceitos de inovação de mercado e organizacional (OECD, 2005a).

Segundo Metcalfe (2007), as políticas de ciência, tecnologia e inovação não podem ser entendidas a partir de uma visão tradicional, pois esta lógica falhou em explicar o processo de inovação e competição na moderna sociedade do conhecimento. Para o autor, o processo de inovação depende fundamentalmente de um emergente sistema de inovação conectado com vários atores engajados com o processo de inovação. Ele diz, ainda, que este sistema não se constrói naturalmente. É necessário o desenvolvimento de instrumentos que permitem a sua construção, pois a inovação

é um dos elementos, talvez o mais importante, das classes gerais de investimentos na economia, que é complementado com outras classes de investimentos feitos pelas firmas e outros tipos de organizações e que requer muito mais que despesas em ciência e tecnologia para serem realizadas (METCALFE, 2007, p.943).

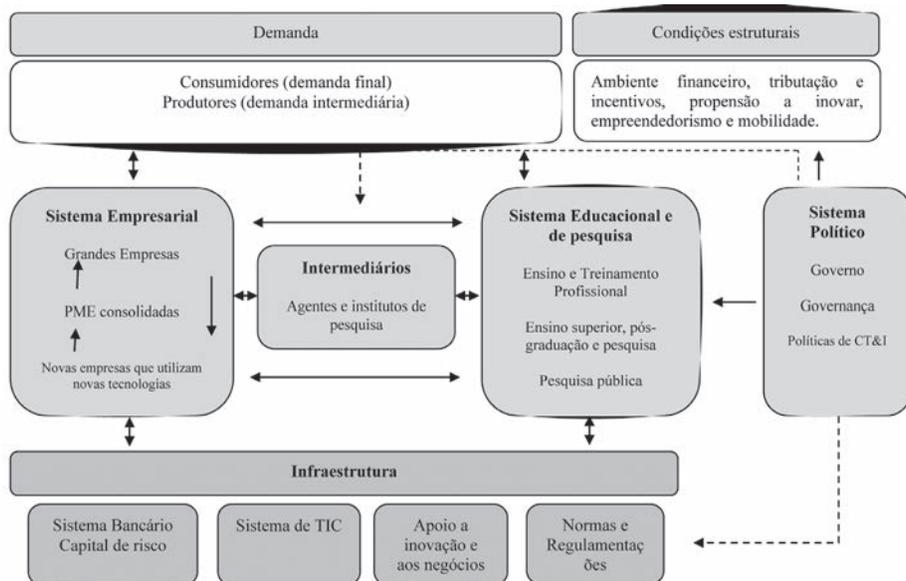
Um sistema de apoio à ciência, à tecnologia e à inovação, conforme entendimento amplamente aceito,

[...] abarca os biótipos de todas as instituições voltadas à pesquisa científica; à geração e difusão de conhecimento; ao ensino e treinamento da população ativa; ao desenvolvimento tecnológico; e à inovação e disseminação de produtos e processos. Também são incluídos nesses sistemas as respectivas entidades regulatórias (normas, regulamentações e leis) e os investimentos públicos em infraestruturas adequadas. Os sistemas de inovação incluem escolas, universidades e institutos de pesquisa (o sistema educacional/científico), empresas industriais (o sistema econômico) e autoridades político-administrativas

e intermediárias (o sistema político), bem como as redes formais ou informais de atores pertencentes a essas instituições (KUHLMANN, 2008, p.48).

Este sistema pode ser representado conforme a abaixo.

Figura 4 – Sistema de Inovação e as Políticas Públicas



Fonte: Thielmann (2014).

O processo de financiamento das atividades de desenvolvimento de inovações e de tecnologias é um processo complexo devido às incertezas em relação aos resultados que são apresentados no longo prazo (METCALFE, 2007).

Portanto,

as políticas tecnológicas apresentam-se, nos dias atuais, como uma prática realizada por diversos países com objetivo tanto de potencializar a capacidade tecnológica do país, estimulando os investimentos privados, quanto de, simultaneamente, possibilitar a construção de um ambiente institucional favorável, com infraestrutura adequada para a promoção de interações entre os agentes envolvidos, como empresas, universidades e institutos de pesquisa. (AVELAR, 2007, p.24).

Segundo Avelar (2007) as políticas públicas de apoio a ciência, a tecnologia e a inovação devem objetivar os seguintes pontos:

- 1) incentivar a ampliação dos esforços de inovação e dos gastos em P&D das empresas;
- 2) realizar atividades de apoio à inovação, como a preparação de infraestrutura tecnológica, a capacitação de recursos humanos especializados e a criação de vínculos entre os agentes que constituem o Sistema Nacional de Inovação.

Além disso, as políticas públicas devem contemplar tanto o lado da oferta como o lado da demanda. Pelo lado da demanda devem criar subsídios para a difusão das tecnologias e pelo lado da oferta criar condições de construção da capacidade tecnológica. Ferraz *et al.* (2002) afirmam que as políticas públicas devem levar em consideração ações no âmbito horizontal e vertical. No âmbito horizontal o papel das políticas públicas seria de melhorar o desempenho da economia como um todo. Já as políticas de âmbito vertical são aquelas que buscam apoiar uma indústria específica ou uma cadeia produtiva pré-determinada.

Meyer-Krahmer e Kuntze (1992) *apud* Kuhlmann (2008) apresentam os principais instrumentos da política pública de ciência, tecnologia e inovação, os quais são descritos no Quadro 3:

Quadro 3 - Os instrumentos da Política Pública de Ciência, Tecnologia e Inovação.

| Instrumentos no sentido estrito | Instrumentos no sentido amplo |
|--|--|
| 1. Financiamento institucional | 1. Demanda pública e compras públicas |
| <ul style="list-style-type: none"> • Centros nacionais de pesquisa. • Conselhos de pesquisa. | 2. Medidas corporativas |
| <ul style="list-style-type: none"> • Organizações para a pesquisa aplicada e desenvolvimento tecnológico. | <ul style="list-style-type: none"> • Perspectivas de longo prazo; prospectiva tecnológica. • Avaliação de tecnologias. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Universidades e outras instituições de ensino superior. • Outros. | <ul style="list-style-type: none"> • Iniciativas relacionadas à consciência tecnológica. |
| 2. Incentivos financeiros | 3. Educação continuada e treinamento |
| <ul style="list-style-type: none"> • Programas para a promoção tecnológica. | 4. Políticas públicas |
| <ul style="list-style-type: none"> • Programas para a promoção indireta (projetos colaborativos de P&D). | <ul style="list-style-type: none"> • Política de competição. • (Des) regulamentação. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Capital de risco. | <ul style="list-style-type: none"> • Estímulo público à demanda privada. |

| | |
|--|-----------------------|
| 3. Outros: infraestrutura para a inovação e mecanismos de transferência de tecnologia | • Incentivos fiscais. |
| • Informações e consultoria para Pequenas e Médias empresas. | |
| • Centros demonstrativos. | |
| • Centros de tecnologia. | |
| • Cooperação, redes, contatos pessoais. | |

Fonte: Thielmann (2014).

Portanto, são os instrumentos que permitem que as políticas sejam realmente implementadas tanto do lado da oferta como do lado da demanda, possibilitando, assim, o desenvolvimento de ações mais pragmáticas para o desenvolvimento de subsídios e de capacitações para que a ciência, a tecnologia e a inovação possam avançar.

1.4 - Desafios para a Definição de uma Política de Ciência, Tecnologia e Inovação no Brasil

Vimos, nas seções anteriores, que a definição de uma política de Ciência, Tecnologia e Inovação nos dias atuais passa pela realização sistemática de diagnósticos da produção, difusão e uso do conhecimento que fundamentam a definição de políticas centradas na oferta e centradas na demanda.

O Brasil dispõe de vários indicadores que permitem a realização de diagnósticos deste tipo, como mostrado no Quadro 4.

Quadro 4: Indicadores de C,T&I Disponíveis no Brasil.

| Nome do Indicador | Componente Operacional | Fonte/Periodicidade |
|--|---|---------------------|
| Número de Cientistas e técnicos em atividades de P&D por milhão de habitantes. | Perfil de cientistas e técnicos em atividades de P&D. | MCTI, anual |
| Número de interações entre empresas e universidades / milhão de empresas | Interações entre empresas e universidades | PINTEC, trienal |
| Número de trabalhos científicos / técnicos por milhão de pessoas | Publicações científicas referenciadas | MCTI, anual |

| | | |
|---|--|-----------------|
| Dispêndio Nacional para CT&I como relação do PIB. | Dispêndio Nacional para a área de Ciência, Tecnologia e Inovação – CT&I | MCTI, anual |
| Pedidos de patentes concedidas pelo USPTO | Desempenho do país em relação a CT&I | MCTI, anual |
| Número de alunos diplomados por milhão de pessoas | Número de Alunos diplomados em Cursos de Pós-Graduação | CAPES, anual |
| Número de programas de pós-graduação por milhão de pessoas | Número de Programas de Pós-Graduação | CAPES, anual |
| Índice de Concessão de Bolsas | Alunos diplomados em programas de Pós-Graduação e Bolsa concedidas em Programas de Pós-Graduação | CAPES, anual |
| Evolução dos recursos arrecadados para os fundos setoriais | Fundos Setoriais de Apoio à Inovação | FINEP, anual |
| Relação entre os recursos pagos e arrecadados | Fundos Setoriais de Apoio à Inovação | FINEP, anual |
| Relação entre os recursos aprovados e arrecadados | Fundos Setoriais de Apoio à Inovação | FINEP, anual |
| Taxa de Inovação | Número de empresas que inovam | PINTEC, trienal |
| Relação do Dispêndio em P&D Interno/Receita Líquida de Vendas | Perfil das empresas que inovam | PINTEC, trienal |

Fonte: elaboração própria (2016).

Porém, não basta ter condições de realizar diagnósticos; a definição de uma política de Ciência, Tecnologia e Inovação no Brasil envolve dois desafios, um relacionado ao contexto da inovação no país e outro relacionado ao desenho e à implementação das políticas públicas.

No que se refere ao contexto da inovação, conforme constatado por Erber (2010):

no Brasil, investe-se pouco em P&D, o aprendizado é passivo, as inovações são defensivas, o sistema de inovações fragmentado e imaturo (...) Ao mesmo tempo, constata-se a existência de inovações mais radicais em algumas atividades, notadamente ligadas a recursos naturais,

conduzidas por um grupo de empresas bastante inovadoras, algumas de “excelência” internacional. (ERBER, 2010, p.68)

Um possível problema que pode afetar a atividade inovadora de empresas centradas em recursos naturais é a vulnerabilidade destas às variações de preços nos mercados de *commodities*.

Cabe também observar que o Brasil tem características diferentes das dos países desenvolvidos. Entretanto, conforme observado por Dagnino, Thomas e Gomes (2003), as políticas de inovação nos países latino-americanos tendem a copiar diretrizes e conceitos formulados para os países desenvolvidos. Por exemplo, o pressuposto de que a empresa é o *locus* da inovação presente em diversas iniciativas de políticas de apoio pode levar a políticas pouco eficazes, na medida em que poucas empresas no Brasil são de fato inovadoras. Os dados mais recentes da Pesquisa de Inovação Tecnológica do IBGE (PINTEC 2011) indicam que apenas 35% das empresas no país são inovadoras, sendo que as inovações são predominantemente para o mercado nacional. Na publicação do INSEAD intitulada Global Innovation Index, o Brasil em 2014 foi ranqueado em 61º lugar numa lista de 123 países .

No que se refere ao desenho e à implementação das políticas, uma política de C,T&I que se baseia numa visão alternativa ao modelo linear de inovação envolve um conjunto de políticas centradas na oferta tais como políticas de fomento à pesquisa e desenvolvimento, à disseminação de novas tecnologias, ao fomento à infraestrutura de Ciência e Tecnologia, ao desenvolvimento regional e ao aumento da capacitação, assim como políticas centradas na demanda tais como o aumento da educação dos usuários e a política de compras públicas (NUUR; GUSTAVSSON; LAESTADIUS, 2011).

Cavalcante (2009) observa que no caso brasileiro, as políticas de Ciência e Tecnologia gradativamente evoluíram para uma política mais sistêmica que contempla os objetivos de inovação e de desenvolvimento. Entretanto, o mesmo autor aponta que há problemas na implementação desta política, decorrentes do fato que a estrutura institucional que operacionaliza o apoio à inovação não dá conta da natureza sistêmica desta atividade (CAVALCANTE, 2013).

Recentemente a Lei de Inovação Tecnológica 2004 e a Lei do Bem de 2005 estabeleceram um aparato legal para o estímulo às atividades inovadoras. A primeira busca estimular o diálogo entre instituições produtoras de conhecimento e organizações produtoras de bens e serviços, e a segunda estabeleceu incentivos fiscais para a atividade inovadora.

A política de Fundos Setoriais de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico, lançada no governo de Fernando Henrique Cardoso, e a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE), criada em 2003, são apontadas por Viotti (2008), juntamente com as leis supra citadas, como as

medidas mais importantes de apoio à inovação no Brasil no início do século XXI. Porém, segundo o mesmo autor:

(..) há indicações de que a política de C&T, neste início da terceira fase do desenvolvimento brasileiro no pós-guerra, estaria se deslocando na direção da inovação tecnológica. Admitindo-se esse fato, duas questões se impõem: Será que efetivamente o Brasil estaria conseguindo transitar de uma política de C&T essencialmente linear ou ofertista para uma política verdadeiramente sistêmica ou de inovação? Será que há espaço para a construção de uma nova fase de desenvolvimento em que o crescimento da renda e da qualidade de vida da população venha a ser resultado fundamentalmente de capacitação e inovação tecnológicas, como é característico das economias desenvolvidas? (VIOTTI, 2008, p.158)

A resposta, por enquanto, tende a ser negativa. Thielmann (2014) mostrou que os Fundos Setoriais vêm apoiando as atividades de ciência e tecnologia, mas não as atividades de inovação. Já a PITCE foi substituída pelo Plano Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação no período 2007-2010 e pela Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação no período 2012-2015. A partir destes planos o Governo reconheceu as atividades de C,T&I como estruturantes do desenvolvimento do país e propõe uma ação mais integrada das políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação com outras políticas – como a industrial, a ambiental, a de educação e a de saúde, o que resulta na difícil tarefa de alinhar as agendas de diferentes pastas ministeriais.

Apesar da visão mais recente que fundamenta a definição de políticas de C,T&I estar de acordo com as abordagens mais modernas que defendem a necessidade de uma ação mais integrada destas políticas com outras políticas de desenvolvimento do país, no caso brasileiro esta integração está longe de ser alcançada.

No que se refere ao aparato legal, a Lei de Inovação não tratou de aspectos fundamentais para a atividade inovadora tais como a falta de flexibilidade na gestão das instituições produtoras de conhecimento, em particular aquelas públicas, e o baixo estímulo às atividades de P&D nas empresas (PEREIRA; KRUGLIANKAS, 2005). Já a Lei do Bem vem obtendo sucesso em estimular as atividades inovadoras que já estavam sendo executadas, mas é falha no que se refere ao aumento do número de empresas inovadoras e na indução a empresas para entrar em projetos arriscados que necessitam de grande aporte de capital (CALZOLAIO; DATHEIN, 2012). A recente suspensão da Lei do Bem devido a problemas fiscais do Governo mostra os limites desta política.

Além disso, como observado por Botelho e Almeida (2012), é pouco eficaz ter instrumentos de fomento à inovação em regiões que não contam com uma

rede de instituições de ensino e pesquisa que possa desenvolver inovações. Cabe observar também que as comunidades científicas só se dispõem a produzir inovações se estiverem inseridas num contexto institucional e ideológico favorável ao empreendedorismo acadêmico (BALBACHEVSKY, 2011). O que vem ocorrendo no Brasil, segundo Cavalcante (2009), é que a despeito da política de C,T,&I ter uma visão mais integrada, as políticas efetivamente implementadas privilegiam a pesquisa científica:

(...) a esmagadora maioria dos recursos públicos destinados às atividades de CT&I no país é aplicada em instituições de ensino superior – onde, por sua própria natureza, prevalece a pesquisa científica – e nas agências de fomento à pesquisa e à formação de recursos humanos, cuja atuação é essencialmente ancorada no modelo linear de inovação. Além disso, os instrumentos que buscam incentivar as atividades de P&D nas empresas têm ainda sua aplicabilidade limitada por obstáculos de natureza institucional e burocrática (CAVALCANTE, 2009, p.24)

Thielmann (2004) sugere que este resultado está associado à atuação das comunidades epistêmicas de Ciência e Tecnologia no Brasil na definição de políticas estruturantes de C,T&I, tais como os Fundos Setoriais.

Além disso, conforme Cruz (2010), o ambiente macroeconômico instável do país impede o desenvolvimento de uma cultura de inovação nas empresas:

Não se trata de o empresário brasileiro não valorizar a inovação tecnológica como importante para seus negócios. Pelo contrário, as principais organizações de representação empresarial como a CNI e a FIESP têm estado extremamente ativas no debate sobre as políticas para C&T&I no Brasil e demonstram reconhecer de forma cada vez mais efetiva a importância da inovação e da P&D em empresas para a competitividade. É preciso reconhecer o ambiente econômico instável, extremamente desfavorável e até mesmo hostil, para que as empresas realizem investimentos de retorno certo, mas em prazo muitas vezes longo, como são os investimentos em P&D. Além disso, mesmo num ambiente menos desfavorável, a atividade de P&D contém uma incerteza intrínseca. Pesquisa-se, em geral, sobre o que não se conhece e, muitas vezes, um projeto perfeitamente organizado e planejado pode não ser bem sucedido.(CRUZ, 2010, p.18)

Por conta disso, a participação de empresas na obtenção de recursos de políticas de fomento à inovação é modesta. De Negri *et al.* (2009) e Kubota *et al.* (2011), citados por Cavalcante (2013), mostram que as empresas têm participação limitada na obtenção de recursos dos Fundos Setoriais, o que é paradoxal uma vez que estes fundos foram constituídos para fomentar a atividade inovadora nas empresas.

Um outro objetivo, das políticas nacionais de C,T&I, que é o fomento à cooperação Universidade-Empresa, também não está sendo atingido. Bonacelli (2013) resume os achados de uma pesquisa do Departamento de Política Científica e Tecnológica da UNICAMP sobre a atividade inovadora nas empresas brasileiras:

(...) o que se entende por atividade inovativa por parte das empresas é especialmente a compra de equipamentos; a universidade aparece como a décima opção (atrás de feiras e eventos, fornecedores, concorrentes, entre vários outros) quando a empresa busca conhecimento e informação para atividades de inovação; as atividades de P&D da universidade são fortemente vistas como substitutas das atividades de P&D da empresa e não como atividades complementares à dela; o número de patentes de invenção continua baixíssimo, com curva estabilizada há mais de 10 anos, sendo que a maioria dos inventores que registram patentes no país é a categoria “não-residentes” (o inverso de países desenvolvidos, nos quais o residente é a categoria principal); prevalece o nível médio quanto ao grau de escolaridade do pessoal envolvido em departamentos de P&D nas empresas que declaram que inovam; poucas empresas inovadoras se utilizam dos programas de estímulo a CT&I do governo (...) e dos direitos de propriedade intelectual. (BONACELLI, 2013, p.3)

Cavalcante (2013) observa ainda dois obstáculos à eficaz implementação de políticas: a pulverização da concessão dos recursos e o isomorfismo em relação às políticas dos países desenvolvidos, corroborando o argumento de Dagnino *et al. op.cit.*

Araújo (2012) aponta também estes obstáculos, acrescentando a eles outro obstáculo relacionado ao fato das políticas atingirem um número limitado de empresas em relação ao total de empresas inovadoras do país (menos de 6%), Este autor observa também que a falta de uma avaliação sistemática das políticas de C,T&I prejudica o desenho das políticas.

Considerações Finais

Ao longo deste capítulo, foi possível notar que as políticas públicas de apoio a Ciência, Tecnologia e Inovação nos países desenvolvidos evoluíram de uma visão linear para uma visão sistêmica: antes centradas no fomento às atividades de ciência e tecnologia, as políticas progressivamente incorporaram o objetivo de fomento à inovação à medida que a visão sistêmica foi se consolidando. No Brasil, é possível constatar também esta evolução, entretanto, o país enfrenta ainda diversos desafios no que se refere ao apoio à atividade inovadora.

Os principais desafios são ligados ao contexto da inovação e à implementação de políticas públicas. O país não possui um contexto favorável à inovação e

a instabilidade macroeconômica prejudica as atividades inovadoras. Há pouca cooperação universidade-empresa e os recursos das políticas de C,T,&I são em sua maioria absorvidos pelas universidades. Poucas empresas são inovadoras e falta nas universidades uma cultura empreendedora que possa aumentar a cooperação universidade-empresa. As empresas líderes em inovação são baseadas em recursos naturais e, por conta disso, suas atividades de pesquisa podem sofrer com as flutuações de mercado. No que se refere à implementação, as dificuldades em alinhar as agendas das diversas políticas relacionadas à inovação, os resultados limitados da Lei do Bem e da Lei de Inovação, a pulverização na concessão de recursos e a falta de uma avaliação sistemática das políticas de C,T&I são os principais obstáculos a serem suplantados.

Como observado por Mazzucato (2011), o Estado tem um papel primordial no fomento à inovação e para uma eficaz implementação das políticas de C,T&I ele deve promover o desenvolvimento de capacidades individuais e organizacionais para a inovação, melhorando assim o contexto de atuação de empresas e instituições produtoras de conhecimento. Segundo esta mesma autora, as empresas com alto potencial de crescimento devem ser alvo de políticas de fomento à inovação e o Estado deve identificar e apoiar os setores estratégicos para esta atividade. Assim, é essencial que o Brasil defina uma política de C,T&I que possa superar os desafios apontados neste capítulo, rompendo com o isomorfismo em relação às políticas de outros países.

Referências Bibliográficas

ABERNATHY, W. J.. UTTERBACK, James M. Patterns of industrial innovation. In: TUSHMAN, M.T.; MOORE, W.L. (eds.) Readings in the management of innovation. Marshfield, Massachusetts: Pitman Publishing Inc., 1982. p. 428-436.

ARAÚJO, B.C. Políticas de apoio à inovação no Brasil: Uma análise de sua evolução recente. Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), No. 1759, 2012

ARBIX, G.. Inovação e Desenvolvimento. Inovação: Estratégias de sete países. Org. Glauco Arbix, *et al.* Série Cadernos da Indústria ABDI , ABDI: Brasília, v. XV, 2010.

ARNOLD, E.; KUHLMANN, S. RCN in the Norwegian research and innovation system: background report n. 12. In: The evaluation of the Research Council of Norway. Oslo: Royal Norwegian Ministry for Education, Research and Church Affairs, 2001.

AVELAR, A.P. M.. Avaliação de Políticas de Fomento à Inovação no Brasil: impacto dos incentivos fiscais e financeiros em 2003. 171p. Tese (Doutorado em Economia) - Instituto de Economia/UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.

BALBACHEVSKY, E. Políticas de ciência, tecnologia e inovação na América Latina: as respostas da comunidade científica. Caderno CRH, Salvador, v.24, nº 63, Setembro/Dezembro 2011, p.503-518

BONACELLI, M.B. Inovação no Brasil – A hora de uma verdadeira interação entre competitividade e CT&I. COMCIÊNCIA No. 150 - 10/07/2013.

BOTELHO, A.; ALMEIDA, M. Revista Sociedade e Estado, Brasília, v. 27 nº 1, Janeiro/Abril 2012, p.117-132

BROOKS, H.. The relationship between science and technology. Research Policy. nº 23, p. 477-486, 1994.

BUSH, V.. Science: The Endless Frontier. U.S. Office of Scientific Research and Development, Report to the President on a Program for Postwar Scientific Research, Government Printing Office, Washington, D.C., 1945.

CALZOLAIO, A. E; DATHEIN, R. Políticas fiscais de incentivo à inovação: uma avaliação da Lei do Bem. Porto Alegre:UFRGS/FCE/DERI, 2012.(Texto para Discussão / Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Ciências Econômicas ; n. 15/2012)

CAVALCANTE, L. R. Políticas de ciência, tecnologia e inovação no Brasil: Uma análise com base nos indicadores agregados. Brasília: IPEA, 2009 (Texto para Discussão nº 1458)

CAVALCANTE, L. R. Consenso Difuso, Dissenso Confuso: paradoxos das políticas de inovação no Brasil. Brasília: IPEA, 2013 (Texto para Discussão nº 1867)

CHAKRABARTI, A. K. SOUDER, W. E. Critical Factors in Technological innovation and their policy implications. Technovation, nº2, 1984, p. 255-275.

CORIAT, B. ORSI, F. WEINSTEIN, O. Science-based, innovation regimes and institutional arrangements: from Science-based “1” to Science-Based “2” regimes. Towards a new science-based regime? DRUID Summer Conference on “Industrial Dynamics of the New and Old Economy - who is embracing whom?”. Copenhagen/Elsinore, June, 2002.

CORIAT, B. WEINSTEIN, O. Organizations, firms and institutions In the generation of innovation. *Research Policy*. nº31, p.273-290, 2002.

CRUZ, C.H.B. Ciência, Tecnologia e Inovação no Brasil:Desafios para o período 2011-2015. *Interesse Nacional*, Junho de 2010. Disponível em:

DAGNINO, R.; THOMAS, H.; GOMES, E. Los fenómenos de transferência y transducción de conceptos como elementos para una renovación explicativa-normativa de las políticas de innovación en America Latina. In: *Organizacion de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (org.) Innovación tecnológica, universidad y empresa*. Madrid:ALTEC, 2003. Cap.2

DE NEGRI, F. *et al.* Perfil das empresas integradas ao sistema federal de CT&I no Brasil e aos fundos setoriais: uma análise exploratória. (Projeto Metodologia de Avaliação dos Resultados de Conjuntos de Projetos Apoiados por Fundos de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I). Relatório n. 2. Brasília: IPEA, 2009. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0221/221093.pdf>.

DOSI, G. The nature of the innovative process. In: DOSI G. *et al.* (eds.). *Technical Change and Economic Theory*. Pinter Publishers. London, 1988. p. 221-238.

ERBER, F. Inovação tecnológica na indústria brasileira no passado recente: uma resenha da literatura econômica. Brasília, DF: CEPAL-Escritório no Brasil/IPEA, 2010. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 17).

FAGERBERG, J. VERSPAGEN, B. Technology-Gaps, innovation-diffusion and transformation: an Evolutionary interpretation. *Research Policy*. v.31 (8-9), 2001, p.1291–1304.

FREEMAN, C. Induced innovation, diffusion of innovations and business cycles. *Technology and Social Process*, Ed. B. Elliot, p. 84-110. Edinburgh University Press, Edinburgh, 1988.

GIBBONS, M. *et al.* *The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*. London: SAGE, 1994, 179p.

HEILBRON, J. L. *The Oxford Companion to the History of Modern Science*. New York: Oxford University Press, 2003.

HMSO. *Realising our potential: a strategy for science, engineering and technology*. Cm 2250 White Paper do Governo Britânico, 1993.

HODGSON, G.M. How economics forgot history: the problem of historical specificity in social science. London: Routledge, 2001.

HODGSON, G. M. The Hidden Persuaders: Institutions and Individuals in Economic Theory. Mimeo, 2001.

HODGSON, G. M. General theorising versus historical perspective: a problem for post Keynesians. IN: Arestis, P., Desai, M & Dow, S. (eds.) Methodology, microeconomics and Keynes: Essays in honour of Victoria Chick. v. 2. London: Routledge, 2002.

JANNUZZI, P. M. Indicadores socioeconômicos na gestão pública. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC; Brasília: CAPES: UAB, 2009.

KUBOTA, L. C.; NOGUEIRA, M. O.; MILANI, D. N. Avaliação dos fundos setoriais: CT-Info. Brasília: Ipea, jun. 2012. (Texto para discussão, n. 1.752).

KUHLMANN, S.. Lógicas e evolução de políticas públicas de pesquisa e inovação no contexto da avaliação. In: Seminário Internacional CGEE. Avaliação de políticas de ciência, tecnologia e inovação: diálogo entre experiências internacionais e brasileiras. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2008.

LENGRAND, L. *et al.* Innovation tomorrow, innovation policy and the regulatory framework: making innovation an integral part of the broader structural agenda. Luxemburgo: Directorate-General for Enterprise, European Commission, 2002.

MACULAN, A.M.. A importância das interações para a inovação e a busca por indicadores. In: Bases conceituais em pesquisa, desenvolvimento e inovação: implicações para políticas no Brasil. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010, pp. 165-184.

MAZZUCATO, M. The Entrepreneurial State. London:Demos, 2011

METCALFE, J. S.. Equilibrium and Evolutionary Foundations of Competition and Technology Policy: New Perspectives on the division of Labour and the Innovation Process. Revista Brasileira de Inovação. v.2, n.1, 2003.

METCALFE, J. S.. Policy for innovation. IN: HANUSCH and PYKA (eds.). Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics. Edgard Elgar Publishing Limited, 2007.

MEYER-KRAHMER, F. Industrial innovation and sustainability: conflicts and coherence. In: ARCHIBUGI, D.; LUNDEVALL, B. (Ed.). *Te globalising learning economy: major socio-economic trends and European innovation policy*. Oxford: Oxford University Press, 2000.

MEYER-KRAHMER, F.; KUNTZE, U.. Bestandsaufnahme der forschung und technologiepolitik. In: GRIMMER, K. *et al.* (Ed.). *Politische techniksteuerung: forschungsstand und forschungsperspektiven*. Opladen: Leske&Budrich, 1992. p. 95-118

NELSON, R. The role of firms in technical advance: a perspective from evolutionary theory. In: DOSI, G. GIANNETTI, R; TONINELLI, P.A. (eds.) *Technology and Enterprise in a Historical Perspective*. Clarendon Press: Oxford, 1992

NUUR, C.; GUSTAVSSON, L.; LAESTADIUS, S. Promoting Regional Innovation Systems in a Global Context. In: ASHEIM, B.T.; EJERMO, O.; RICKNE, A. (eds.) *When is Regional "Beautiful"? Implications for Knowledge Flows, Entrepreneurship and Innovation*. London: Routledge, 2011

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. *Manual de Oslo: Diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação*. 3. ed. Paris: OCDE, 2005a.

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. *Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data*. 3º ed. Paris: OCDE, 2005b.

PAVITT, K. Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory. *Research Policy*. v.13, p.343-373, 1984

PAVITT, K. The objectives of technology policy. *Science and Public Policy*. N.14, v.4, p.182-188, 1987

PAVITT, K. What We know about the Strategic Management of Technology. *California Management Review*. v.32 (3), p.17-26, 1990

PEREIRA, J.M.; KRUGLIANSKAS, I. Gestão de inovação: a Lei de Inovação tecnológica como ferramenta de apoio às políticas industrial e tecnológica do Brasil. *RAE-eletrônica*, São Paulo, v. 4, n. 2, Art. 18, jul./dez. 2005. Disponível em <http://www.rae.com.br/electronica/index.cfm?FuseAction=Artigo&ID=1912&Secao=ARTIGOS&Volume=4&Numero=2&Ano=2005>

ROSENBERG, N. Why do firms do basic research (with their own money) Research Policy. n.19, pp. 165-74, 1990.

ROSENBERG, N. Inside the black box: Technology and economics, Cambridge: Cambridge University Press, 1982.

STOKES, D. O quadrante de Pasteur: a ciência básica e a inovação tecnológica. Tradutor: José Emílio Maiorino. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2005.

VIOTTI, E. Brasil: de política de C&T para política de inovação? Evolução e desafios das políticas brasileiras de ciência, tecnologia e inovação In: Seminário Internacional CGEE. Avaliação de políticas de ciência, tecnologia e inovação: diálogo entre experiências internacionais e brasileiras. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2008.

VON HIPPEL, E.; TYRE, M J.. How learning by doing is done: problem identification in novel process equipment. Research Policy, v.24, p. 1-12, 1995.

2

A Relevância da Abordagem de Sistemas de Inovação para a Área de Energia Elétrica

José E Cassiolato e Maria Gabriela Podcameni

Resumo

O artigo tem como objetivo discutir a relevância da abordagem de Sistemas de Inovação para a área de energia elétrica. Para tal, o artigo apresenta a evolução histórica do conceito de inovação e discute suas vantagens e desafios apontando alguns dos principais pontos de conexão entre as contribuições da Escola Estruturalista Cepalina e da Escola Neo-schumpeteriana. Ademais, o presente trabalho também examina a experiência brasileira no desenvolvimento do conceito de sistemas produtivos e inovativos locais e na sequência mostra a utilidade deste conceito tanto em termos analíticos quanto normativos para uma indústria organizada em rede como a de energia elétrica. Em relação ao caso brasileiro, o artigo descreve brevemente os desafios relacionados à inovação do setor elétrico brasileiro e enfatiza as especificidades da evolução da capacitação inovativa em energia eólica no Brasil no passado recente.

Introdução

A atenção dada às formas de geração, difusão e uso de conhecimentos ganhou renovado vigor nas últimas décadas do século XX. Dentre os principais avanços, destaca-se o desenvolvimento do conceito de sistemas de inovação crescentemente utilizado para entender o papel da inovação e do conhecimento na competitividade de organizações e países. O foco da obra a compreensão da dinâmica inovativa da indústria de energia elétrica são os objetivos deste texto.

O artigo encontra-se estruturado da seguinte forma. A seção 1.1 discute o desenvolvimento do conceito de inovação desde o final dos anos 1960, culminando com a evolução da abordagem de sistemas de inovação, nos anos 1980. A seção 1.2 discute suas vantagens e desafios apontando alguns dos principais pontos de conexão entre as contribuições da Escola Estruturalista Cepalina e da Escola Neo-schumpeteriana. A seção 1.3 examina a experiência brasileira

no desenvolvimento do conceito de sistemas produtivos e inovativos locais. A seção 1.4 analisa a utilidade deste conceito tanto em termos analíticos quanto normativos para uma indústria organizada em rede como a de energia elétrica, enquanto a seção 1.5 discute o caso brasileiro, com uma ênfase especial nas especificidades da evolução da capacitação inovativa em energia eólica no Brasil no passado recente. Por fim, conclusões preliminares são apresentadas.

2.1 - Breve Revisão acerca dos Processos de Inovação

A literatura sobre inovação tem em sua fundação as contribuições de Schumpeter, e em especial sua tentativa de teorização da relação entre inovação tecnológica e o desenvolvimento econômico. O crescimento da economia é visto como um processo dinâmico que depende tanto da geração e uso das inovações, quanto dos processos de difusão das mesmas. Os avanços - produtivos, tecnológicos, organizacionais, institucionais, etc. - resultantes de processos inovativos são tomados como fator básico na formação dos padrões de transformação da economia e de seu desenvolvimento no longo prazo (SCHUMPETER, 1912; 1939; 1942).

Essas contribuições têm sido qualificadas e aprimoradas por uma série de autores que o seguiram na busca de entender a dinâmica capitalista focalizando centralmente a dinâmica inovativa e seus impactos no desenvolvimento de organizações e países.

Até os anos 1960, a inovação era identificada com novos produtos ou processos e entendida como ocorrendo em estágios sucessivos de pesquisa básica, pesquisa aplicada, desenvolvimento, produção e difusão (visão linear da inovação). Geralmente a discussão sobre as fontes mais importantes de inovação, polarizava-se entre aqueles que (i) atribuíam maior importância ao avanço do desenvolvimento científico (*science push*) e os que (ii) destacavam a relevância das pressões da demanda por novas tecnologias (*demand pull*).

Nas décadas seguintes, o entendimento da inovação é requalificado e ampliado, com amplas consequências para a esfera das políticas de ciência e tecnologia (C&T). Estudos empíricos e teórico-conceituais mostraram que existe uma ampla gama de informações e conhecimentos essenciais favorecendo a geração e incorporação de novidades (inovação), processos estes caracterizados por mecanismos de tentativa e erro e de *feedbacks*. As inovações passaram a ser entendidas como resultantes do conjunto de atividades interligadas, compreendendo principalmente sua assimilação, uso e difusão. A análise do processo inovativo passa a se concentrar nas estruturas subjacentes a tais conexões. Reconheceu-se, por exemplo, que apesar de o processo de acumulação de conhecimentos ser essencialmente específico da empresa ele é fundamentalmente

influenciado por constantes relações entre firmas e demais organizações. Portanto, a inovação passa a ser entendida não como “um único ato, mas sim uma série deles ... adquirindo significado econômico apenas através de extenso processos de *redesign*, modificação e inúmeras pequenas melhorias” (ROSENBERG, 1976). Ou como preferiu Dosi (1988), “a busca por e a descoberta, experimentação, desenvolvimento, imitação e adoção de novos produtos, novos processos produtivos e novos sistemas organizacionais”.

Especialmente importante foi o entendimento de que os processos de inovação e de difusão se determinam mútua e simultaneamente. Constatou-se, na verdade, que ao se iniciar o processo de difusão de qualquer tecnologia existe um conjunto de novidades concorrentes, baseadas em tecnologias que se alteram constante e sistematicamente em resposta à experiência e aos incentivos que surgem durante a difusão (METCALFE, 1986). Nesta perspectiva, interações entre produtores e usuários e a existência de um conjunto relativamente sofisticado de qualificações no entorno são elementos importantes no processo de desenvolvimento de uma nova tecnologia. Desta forma, ressalta-se que os processos de seleção sociais, econômicos e políticos vinculados à geração, uso e difusão de inovações contribuem simultaneamente para definir as trajetórias tecnológicas.

Trata-se, portanto, de uma relação biunívoca, onde o ambiente no qual a inovação se desenvolve e difunde conforma o padrão da evolução das tecnologias, que por sua vez redefine a própria trajetória inovativa. Ambientes diferentes onde se encontram as empresas e organizações são associados a diversos padrões de avanço tecnológico (GEORGHIOU *et al.*, 1986). Isto ressalta as especificidades nacionais, regionais e locais dos processos de geração, uso e difusão de inovações. O processo inovativo é então visto como resultado da aprendizagem coletiva, a partir dos vínculos dentro da empresa e entre esta e demais organizações (LUNDVALL, 1985; PÉREZ, 1988). A inovação passou a ser vista, não mais como um ato isolado, mas sim como um processo de aprendizado interativo, não-linear, cumulativo, específico da localidade e dificilmente replicável.

O caráter sistêmico da inovação já era reconhecido por Freeman (1982), que apontava que as decisões e estratégias tecnológicas são dependentes de fatores que abrangiam o setor financeiro, o sistema de educação e a organização do trabalho, além da própria esfera da produção e comercialização de bens e serviços. Este esforço antecipou a definição do conceito de sistema nacional de inovação, a qual foi explicitada no livro sobre a evolução do caso japonês (FREEMAN, 1987). É interessante notar que diversos autores latino-americanos e caribenhos, pelo menos desde meados do século XX, sempre apontaram que o entendimento da dinâmica industrial e tecnológica, e das políticas para sua mobilização, exige considerar e atuar de forma sistêmica os condicionantes do quadro macroeconômico, político, institucional e financeiro específico de cada

país (PREBISCH, 1949; FURTADO, 1961). Uma percepção fundamental de que este contexto mais amplo jamais pode ser ignorado foi a observação de que o mesmo se constitui em importante “política implícita” capaz de dificultar e até anular as políticas explícitas específicas (HERRERA, 1971).

Significativo, também, é que os trabalhos de Freeman (1982a; 1982b), que associando o entendimento da evolução do capitalismo às ondas de crescimento e depressão de longo prazo:

- exploram as formas do processo inovativo no novo paradigma tecnológico das tecnologias de informação (TICs);
- criticam as teses de que o livre comércio seria desvantajoso para países menos desenvolvidos;
- apontam a necessidade de iniciativas governamentais para lidar com incertezas, especialmente altas nos períodos de mudança de paradigma.

Observa-se assim que as mudanças nos paradigmas técnico-econômicos são tidas como essenciais para explicar os períodos de crescimento e de crise econômica. Os novos paradigmas alteram as fronteiras tecnológicas e criam novos conjuntos de padrões, práticas e processos produtivos. Geralmente a mudança tecnológica é rápida, enquanto as mudanças nas instituições e nas organizações públicas e privadas tendem a ser mais lentas. Assim, é comum que as mudanças tecnológicas sejam acompanhadas por uma inércia nas instituições. Deste modo, os períodos de crise são vistos a partir do conflito entre a emergência do novo paradigma e a estrutura institucional anterior, assim como os booms econômicos são relacionados aos períodos em que ocorre a adaptação das instituições e da estrutura econômica e a sua interação com o novo paradigma tecno-econômico (FREEMAN, 1982c; 1998; PEREZ, 1983; 1988).

Estes desenvolvimentos levaram à ênfase da visão sistêmica nas proposições de política e à relevância de focalizar as articulações entre os diferentes atores nos distintos sistemas nacionais de inovação. Destaca-se a dupla característica das novas políticas: a inovação passa a ser o mais importante componente das estratégias de desenvolvimento (e não apenas das políticas de C&T ou das políticas industriais) e as políticas a ela direcionadas passam a ser entendidas como políticas para sistemas de inovação.

O foco em conhecimento, aprendizado e interatividade deu sustentação à ideia de sistemas de inovação, os quais foram conceituados como conjuntos de instituições que contribuem para e afetam o desenvolvimento da capacidade de aprendizado, criação e uso de competências de um país, região, setor ou localidade (FREEMAN, 1987; 1988; LUNDVALL, 1992; 1995). Tais sistemas constituem-se de elementos que interagem na produção, uso e difusão do

conhecimento. Estes sistemas contêm, não apenas aqueles diretamente voltados ao desenvolvimento científico e tecnológico, mas vários outros, incluindo formas de comportamento, normas, políticas e demais características do contexto onde se localizam. Reforça-se, deste modo, a ideia que os processos de inovação - que têm lugar no nível da firma - são também gerados e sustentados por suas relações com outras empresas e organizações e dependem deste ambiente mais amplo.

2.2 - A Evolução do Conceito de Sistemas de Inovação: vantagens e desafios

Conforme apontado por Lundvall (2006), alguns autores tendem a utilizar o conceito de sistemas de inovação de forma restrita, considerando-o como um desdobramento de visões anteriores sobre os sistemas nacionais de ciência e tecnologia (NELSON, 1993; MOWERY *et al.*, 1995). Para esta linha de raciocínio, os pontos principais se relacionam a mapear indicadores de especialização e desempenho nacionais relativos aos esforços de P&D e inovação e às organizações de C&T. No que se refere à política, os tópicos se referem exclusivamente à política explícita de C&T. A análise inclui alguns fatores que influenciam a produção e uso do conhecimento, mas ignora o conjunto mais amplo de elementos: desde aqueles que conformam a criação de capacitações – tais como a educação, treinamento, relações industriais e a dinâmica do mercado de trabalho – até aqueles outros mais gerais mas que afetam decisivamente os sistemas de inovação, como as políticas implícitas macroeconômicas e o setor financeiro.

A definição mais ampla de sistemas nacionais de inovação inclui estas dimensões analíticas, incorporando o papel das firmas, organizações de ensino e pesquisa, governo (como um todo e não apenas a política de C&T), organismos de financiamento, e outros atores e elementos que influenciam a aquisição, uso e difusão das inovações. Nesta linha é que se enfatiza (i) o papel de processos históricos - responsáveis por diferenças em trajetórias de desenvolvimento, evolução político-institucional e capacitações socioeconômicas; (ii) a importância do caráter nacional dos sistemas de inovação. (FREEMAN, 1982; 1987; LUNDVALL, 1985). Conforme destacado acima, desde o primeiro trabalho que introduziu o conceito, Freeman (1982a), argumentava que não apenas o desempenho dos países está ligado à inovação, mas que outros fatores além das organizações de C&T e P&D influenciam significativamente o desempenho inovativo de países e empresas, sublinhando a sua natureza nacional. Posteriormente ele usou especificamente o conceito amplo de sistemas nacionais de inovação na análise do desempenho econômico e tecnológico japonês dos anos 1950 até os 1980.

A abordagem de sistemas nacionais de inovação foi também ampliada por trabalhos (LUNDVALL 1988; JOHNSON, 1992; LUNDVALL, 2006; JOHNSON *et al.*, 2003) que destacaram a relevância das relações produtor-usuário para a inovação e o papel do mercado doméstico. Em Lundvall (1988), por exemplo, o autor destacou que uma importante fonte de inovação é o aprendizado interativo que ocorre na produção, desenvolvimento tecnológico, marketing, vendas e que envolve elementos não vinculados ao preço tais como poder, lealdade e confiança. Tudo isto reafirmou a importância de capturar a especificidade dos diferentes atores, o tipo e a qualidade das relações e o entendimento do papel das instituições no seu sentido mais amplo – como normas e regras, informais e formais. Ênfase especial foi dada a este papel das instituições na determinação: (i) de como as pessoas se relacionam e como elas aprendem e usam conhecimentos; (ii) da direção que tomam e da taxa em que evoluem as atividades inovativas (JOHNSON, 1992; LUNDVALL, 2006; JOHNSON *et al.*, 2003).

Evidentemente que continuam tendo enorme utilidade as análises focalizando as relações produtor-usuário, universidade-empresa, etc. No entanto, não se deve esquecer todo o avanço registrado nas últimas três décadas no entendimento da inovação - como processo sistêmico, com múltiplas e simultâneas fontes e não-linear - o qual nos faz compreender que tais relações em alguns sistemas podem até ser as principais, mas jamais serão as únicas. Adicionalmente, destaca-se que em todos os países é reconhecida a importância de processos formais e informais de geração, aquisição, uso e disseminação de conhecimentos.

Um enfoque mais amplo deve, não apenas considerar o contexto das organizações de ensino e pesquisa com um todo (incluindo universidades, escolas e centros de capacitação de diversos níveis), mas também ser capaz de apreender os processos informais envolvidos nos processos de aprendizagem e criação de capacitações. Reitera-se aqui a conclusão que para explicar o desempenho econômico é necessário considerar as dimensões sociais, políticas e culturais específicas a cada realidade.

Isto por sua vez reforça a necessidade de um instrumental analítico/normativo mais amplo e complexo do que aquele oferecido pela teoria econômica tradicional. Nesta direção, tanto Freeman quanto Lundvall estudam as restrições da análise quantitativa baseada em modelos abstratos, propondo um método por eles caracterizado como *reasoned history*. Citando Schumpeter na análise do desenvolvimento econômico eles sublinham que (FREEMAN 1982a; LUNDVALL, 2006):

“... it is absurd to think that we can derive the contour lines of our phenomena from our statistical material only. All we could ever prove from it is that no regular contour lines exist ... We cannot stress this point sufficiently. General history (social, political and cultural),

economic history and more particularly industrial history are not only indispensable, but really the most important contributors to the understanding of our problem. All other materials and methods, statistical and theoretical, are only subservient to them and worse than useless without them."

Outra dimensão que constitui uma parte importante do entendimento mais amplo dos sistemas nacionais de inovação – e que tem um impacto significativo na inovação – é a perspectiva de tempo. Como exemplo da forma pela qual as diferenças institucionais têm uma influência decisiva na conduta e desempenho nacionais, as estratégias corporativas de curto prazo têm sido confrontadas com perspectivas de longo prazo. Tal fator é ainda mais relevante no caso de investimentos em atividades que necessitam maturação no longo prazo e envolvem alto risco, como é o caso de educação e inovação. Outra dimensão se refere ao papel da confiança e das instituições a elas relacionadas. A força e o tipo da confiança determinarão como o aprendizado interativo ocorrerá. Arranjos formais e legais refletirão e terão um impacto nesta dimensão social tácita. Outras instituições formais e informais que são importantes para o sistema nacional de inovação incluídas na definição mais ampla são: o nível de coesão e solidariedade, o papel da educação e treinamento, mercado de trabalho e legislação corporativa, legislação contratual, instituições de arbitragem, etc. Todas são historicamente determinadas e dependentes do contexto (JOHNSON *et al.*, 2003; LUNDVALL, 2006).

Foi particularmente relevante o fato de o conceito de sistema de inovação haver sido criado e desenvolvido em meados dos anos 1980, exatamente quando tomava corpo e rapidamente se difundia a tese sobre a aceleração da globalização econômica, a qual inclusive foi associada à hipótese de uma tendência a um suposto tecnoglobalismo.

Como vimos, esta abordagem reforçou o foco no caráter cumulativo localizado e nacional da geração, assimilação e difusão da inovação, assim como a conclusão que a base do dinamismo e da competitividade das empresas não se restringe:

- a uma única empresa ou a um único setor, estando fortemente associada a atividades e capacidades existentes ao longo da cadeia de produção e comercialização, além de envolver uma série de atividades e organizações responsáveis pela assimilação, uso e disseminação de conhecimentos e capacitações;
- apenas aos atores econômicos e às cadeias e complexos produtivos, mas reflete também as particularidades dos demais atores sociais e políticos, assim como dos ambientes onde se inserem.

Assim, diferentes contextos, sistemas cognitivos e regulatórios e modos de articulação e de aprendizado são reconhecidos como fundamentais na aquisição, uso e difusão de conhecimentos e particularmente aqueles tácitos. Tais sistemas e modos de articulação podem ser tanto formais como informais.

Outro avanço crucial consolidado na abordagem de Sistema Nacional de Inovação se refere à constatação de que inovação não se restringe a processos de mudanças radicais na fronteira tecnológica, realizados quase que exclusivamente por grandes empresas através de seus esforços de pesquisa e o desenvolvimento (P&D). São significativas as consequências de entender a inovação como “processo pelo qual as organizações incorporam conhecimentos na produção de bens e serviços que lhes são novos, independentemente de serem novos, ou não, para os seus competidores domésticos ou estrangeiros”.

Esse entendimento ajuda a evitar diversas distorções, incentivando os *policy-makers* a adotarem uma perspectiva mais ampla sobre as oportunidades para o aprendizado e a inovação em pequenas e médias empresas (PMEs) e também nas chamadas indústrias tradicionais. As implicações para políticas de tais qualificações são significativas.

Assim, em vez de ignorar as especificidades dos diferentes contextos e atores locais, os principais blocos do enfoque em sistemas de inovação exigem que sejam elas sejam captadas e analisadas. Desta forma, a ênfase em tratar a inovação como um processo cumulativo e específico ao contexto determinado permite desmistificar, por exemplo, ideias simplistas sobre as possibilidades de gerar, adquirir e difundir tecnologias. Tal ênfase torna claro que a aquisição de tecnologia no exterior não substitui os esforços locais. Ao contrário, é necessário muito conhecimento para poder interpretar a informação; selecionar, comprar, copiar, transformar e internalizar a tecnologia importada.

Outro aspecto essencial é o papel central dado à inovação para a competitividade dinâmica e sustentável. Esta contrasta com a usual prioridade dada à exploração das vantagens competitivas tradicionais (como baixos custos da mão-de-obra e da exploração de recursos naturais sem uma perspectiva de longo prazo e à manipulação da taxa de câmbio), as quais Fajnzylber (1988) chamou de espúrias.

Apesar destas e outras vantagens associadas ao desenvolvimento e uso da abordagem em sistemas de inovação, alertas têm sido feitos sobre o risco de estes representarem apenas rótulos novos em velhas práticas. Refere-se aqui àquele enunciado por Reinert *et al.* (2003), que algumas tentativas de uso do enfoque em sistemas de inovação não passavam de:

“a thin icing on a solid neo-classical cake ... ‘We argue that by integrating some Schumpeterian variable to mainstream economics we may not arrive at the root causes of development. We risk applying a

thin Schumpeterian icing on what is essentially a profoundly neoclassical way of thinking, trade theory is but one example here. ... As has already frequently been emphasized in the NIS approach, it is crucial to understand the different national contexts." (REINERT *et al.*, 2003).

A tentativa de dar um caráter operacional ao conceito de sistemas de inovação tem levado diversos autores a propor diferentes dimensões a ele associadas. Assim a ideia de sistemas supranacionais (FREEMAN, 1999), regionais (COOKE *et al.*, 1998) e setoriais de inovação (MALERBA *et al.*, 1996) tem sido proposta pela literatura. Em paralelo, a percepção sobre a importância da proximidade geográfica das empresas para explicar um bom desempenho na competitividade de firmas tem aumentado. Termos como sinergia, economias de aglomeração, eficiência coletiva, etc têm sido apresentados de modo a exprimir algumas preocupações de tal debate.

Verifica-se que a pesquisa sobre aglomerações industriais e sobre o local como uma fonte de vantagens competitivas tem crescido significativamente nos últimos anos. A ideia de aglomerações setoriais torna-se associada ao conceito de competitividade a partir do início dos anos 1990 e tem sido utilizada, tanto como unidade de análise, quanto como unidade de ação de políticas industriais.

Evidentemente existem diferenças entre uma visão estritamente setorial da inovação e a abordagem sistêmica apresentada neste artigo. De fato, a visão setorial não captura a situação atual onde as fronteiras dos setores produtivos encontram-se em mutação, tornando-se fluidas. Questionam-se também as formas tradicionais de mensurar e avaliar atividades econômicas agrupando-as em setores, principalmente dada a heterogeneidade das organizações e suas estruturas produtivas e inovativas existentes dentro de um mesmo setor. Adiciona-se a esta condição a tendência tanto à incorporação de conhecimentos avançados e crescentemente multidisciplinares, como à convergência das funções e aparatos tecnológicos de vários segmentos até então desvinculados entre si. Tais tendências são particularmente marcantes em situações de transformações técnico-econômicas radicais e abrangentes – como nas mudanças de paradigma (LASTRES *et al.*, 2006). Há casos ilustrativos nos chamados setores primários, como o agrícola, o extrativo e o pesqueiro, e também naqueles mais avançados.

Marques (1999), por exemplo, utiliza a produção de tomates para mostrar como as novas tecnologias afetam todas as etapas da cadeia produtiva, sugerindo que a produção deste bem depende e se articula profundamente com a produção de diversos setores, tornando pouco relevante a sua classificação como um produto agrícola:

“Agora, antes de plantar tomates são necessários muitos planos, desenhos, tabelas e roteiros para produzir as sementes geneticamente

tratadas, os fertilizantes, o plantio geométrico, a colheitadeira, o sistema de seleção eletrônica, os recipientes e seus meios de transporte, etc. ... – o tomate é um produto *high-tech!*". (MARQUES, 1999).

Aponta-se que com a alta difusão das novas tecnologias base do novo padrão – TICs, biotecnologia, engenharia genética e materiais avançados – mesmo setores considerados tradicionais podem apresentar-se como intensivos em tecnologias de ponta. Com isto se torna ainda mais evidente a inadequação da forma como são definidos os setores econômicos. Apesar de o conhecimento já acumulado sobre as trajetórias setoriais continuarem relevantes, tanto a produção quanto a inovação são cada vez mais influenciadas pelo conhecimento e as capacidades de diferentes atividades produtivas e áreas científicas e tecnológicas. Devido às dificuldades em mensurar os conhecimentos de variadas origens utilizadas nos diferentes setores, continuamos tratando tais setores do mesmo modo que quando as classificações foram concebidas. Portanto, mesmo que sejam adicionadas novas atividades e setores àqueles que fazem parte dos sistemas estatísticos dos diferentes países, mostra-se crescentemente difícil continuar usando estas categorias sem questioná-las (LASTRES *et al.* 2006).

As principais conclusões desta discussão contribuem para ressaltar a necessidade de um referencial que dê conta dos novos desafios. A classificação setorial usual relaciona-se a conjuntos de conhecimentos e atividades que podem agora estar representando peso minoritário no valor agregado do setor em questão. Evidentemente a linha de fronteira entre setores sempre foi arbitrária.

Porém, ressalta-se que, no quadro atual, torna-se mais agudo o problema de se captar - através de indicadores imperfeitos - apenas parte dos sistemas produtivos e inovativos. Existe, portanto, uma necessidade de avançar no refinamento do uso da visão sistêmica, tanto no âmbito analítico quanto político-normativo. O objetivo do próximo item é apresentar brevemente a experiência brasileira no desenvolvimento e uso pragmático do conceito de sistema nacional de inovação.

2.3 - A Experiência Brasileira no Desenvolvimento do Conceito de Sistema de Inovação

No Brasil, o conceito de sistemas produtivos e inovativos locais foi criado e desenvolvido pela RedeSist¹ em finais da década de 1990 e foi rapidamente disseminado na esfera de ensino e pesquisa e de política (CASSIOLATO *et al.*, 1999; 2005; LASTRES *et al.*, 1999; 2006). Este conceito combina as contribuições

1 Redesist é uma rede de pesquisa interdisciplinar, formalizada desde 1997, coordenada pelos professores José Eduardo Cassiolato e Helena Lastres, sediada no Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro e que conta com a participação de várias universidades e institutos de pesquisa no Brasil, além de manter parcerias com outras instituições da América Latina, Europa e Ásia.

sobre desenvolvimento da escola estruturalista latino americana com a visão neo-schumpeteriana de sistemas de inovação.

Chama-se a atenção para o significativo processo de aprendizado posto em marcha ao colocar em prática esta nova abordagem, tanto enquanto ferramenta analítica quanto de orientação de políticas. Todos os atores envolvidos aprenderam muito com erros e acertos e muitas vezes tiveram que inovar.

Assim, de acordo com a definição proposta pela RedeSist, Arranjos e Sistemas Produtivos e Inovativos representa fundamentalmente um quadro de referências, a partir do qual se busca compreender os processos de geração, difusão e uso de conhecimentos e da dinâmica produtiva e inovativa. Tal abordagem oferece um novo instrumental para entender e orientar o desenvolvimento industrial e tecnológico. Entende-se a produção e a inovação como processos sistêmicos, que resultam da articulação de distintos atores e competências. Isso explica porque as novas políticas de desenvolvimento produtivo e inovativo visam mobilizar esses elementos, com o objetivo de ampliar a capacidade de gerar, assimilar e usar conhecimentos.

O enfoque abrange conjuntos de atores econômicos, políticos e sociais e suas interações, incluindo: empresas produtoras de bens e serviços finais e fornecedoras de matérias-primas, equipamentos e outros insumos; distribuidoras e comercializadoras; trabalhadores e consumidores; organizações voltadas à formação e treinamento de recursos humanos, informação, pesquisa, desenvolvimento e engenharia; apoio, regulação e financiamento; cooperativas, associações, sindicatos e demais órgãos de representação. Tal visão sistêmica abrange atores e atividades produtivas e inovativas:

- Com distintas dinâmicas e trajetórias, desde as mais intensivas em conhecimentos até aquelas que utilizam conhecimentos endógenos ou tradicionais;
- De diferentes portes e funções, originários dos setores primário, secundário e terciário, operando local, nacional ou internacionalmente.

A ênfase no local levou ao desenvolvimento do termo mais amplamente difundido de arranjos produtivos locais (APLs). Isto se deve ao fato de que as atividades produtivas e inovativas são diferenciadas temporal e espacialmente, refletindo o caráter localizado da assimilação e do uso de conhecimentos e capacitações, resultando em requerimentos específicos de políticas.

De fato, a base do dinamismo e da competitividade das empresas não se restringe: (i) a uma única empresa ou a um único setor, estando fortemente associada a atividades e capacidades existentes ao longo da cadeia de produção e comercialização, além de envolver uma série de atividades e organizações

responsáveis pela assimilação, uso e disseminação de conhecimentos e capacitações; (ii) apenas aos atores econômicos e às cadeias e complexos produtivos, mas reflete também as particularidades dos demais atores sociais e políticos, assim como dos ambientes em que se inserem. Assim, o foco em sistemas produtivos locais permite auxiliar na superação de problemas tratados por abordagens tradicionais que se mostram crescentemente insuficientes e até inadequados. Para melhor entender a dinâmica de um determinado sistema produtivo – e dar sugestões de como promovê-lo – mostra-se necessário conhecer em profundidade as especificidades do mesmo e também seu peso e papel dentro das cadeias, complexos e setores em que se inserem, assim como das economias regionais, nacionais e internacionais.

Diferentes contextos, sistemas cognitivos e regulatórios e modos de articulação e de aprendizado são reconhecidos como fundamentais na aquisição, uso e difusão de conhecimentos e particularmente aqueles tácitos. Tais sistemas e modos de articulação podem ser tanto formais quanto informais. Portanto, observa-se que o argumento resumido de que o enfoque em arranjos produtivos e inovativos locais é mais avançado e vai além de tradicionais visões baseadas em organizações individuais, setores, aglomerações, cadeias e complexos produtivos, pois:

- Focaliza conjuntos de diferentes atores e atividades nos setores primário, secundário e terciário.
- Focaliza as inter-relações entre diferentes atores, setores, dimensões e atividades.
- Cobre o espaço, onde ocorre o aprendizado, são criadas as capacitações produtivas e inovativas e fluem os conhecimentos e particularmente aqueles tácitos.
- Permite estabelecer uma ponte entre o território e as atividades econômicas, as quais também não se restringem aos cortes clássicos espaciais como os níveis municipais e de microrregião.
- Incorpora e aprimora as abordagens em organizações individuais, setores e aglomerações, cadeias e complexos produtivos.
- Representa o nível em que as políticas de promoção do aprendizado e criação de capacitações produtivas e inovativas podem ser mais efetivas.

De acordo com a concepção original desse enfoque, onde houver produção de qualquer bem ou serviço haverá sempre um sistema em torno da mesma, envolvendo atividades e atores relacionados desde a aquisição de matérias-primas, máquinas e demais insumos até a sua comercialização. Tais sistemas variarão desde aqueles mais rudimentares àqueles mais complexos e articulados, que

funcionam de modo realmente sistêmico. Nesta perspectiva, o número de sistemas ou arranjos produtivos locais existentes no Brasil é tão grande quanto a capacidade produtiva brasileira permita. Tanto do ponto de vista analítico quanto de política, não basta desenvolver indicadores e mapas objetivando identificar a quantidade de sistemas existentes e suas diferentes configurações e graus de desenvolvimento. De forma semelhante, por serem baseadas no reconhecimento das especificidades dos diferentes sistemas, as políticas para sua promoção são incompatíveis com modelos genéricos que utilizam ideias de *benchmark* e *best practice*.

Apona-se como traço distintivo deste enfoque o fato de este tomar como unidade de análise um conjunto de agentes que vai além do foco em organizações individuais (empresas), setores ou cadeias produtivas, estabelecendo uma relação estreita entre o território e as atividades econômicas. Esta unidade de análise ampla cobre o espaço no qual ocorre o aprendizado, são criadas as capacitações produtivas e inovativas e fluem os conhecimentos tácitos os quais configuram importantes fatores de diferenciação competitiva (CASSIOLATO; LASTRES, 2003).

2.4 - A Utilidade do Conceito de Sistemas de Inovação para a Compreensão da Inovatividade na Indústria de Energia Elétrica

A inovação tecnológica na produção e utilização de energia está inextricavelmente entrelaçada com a história do desenvolvimento humano, sendo o próprio setor da energia extraordinariamente grande, diverso e complexo. Existem inúmeras tecnologias e indústrias para a produção e conversão de fontes primárias de energia, como o petróleo, carvão e extração de gás natural e de combustão distintos; nuclear, hidrelétrica, e poder vento solar; bem como os biocombustíveis.

Portanto, o emprego do referencial de análise de sistemas de inovação e ASPILs para atividades ligadas à indústria de energia contribui para ressaltar alguns elementos ou dimensões com características bastante específicas. Além da questão territorial, acima apontada, destacam-se as formas de interação entre os agentes; os conhecimentos e os processos de geração e difusão destes; a coordenação das atividades; bem como as características e importância da inovação e da preservação para a sustentabilidade do conjunto do sistema. Estas dimensões, embora relevantes na análise de qualquer tipo de atividade produtiva, se apresentam com características bastante específicas numa indústria de rede como a de energia elétrica com importantes desdobramentos em termos das perspectivas de desenvolvimento e de formulação de políticas de apoio e promoção à inovação.

O exame do desenvolvimento histórico das tecnologias da iluminação e sistemas de eletricidade nos EUA e na Europa no final do século XIX e início do século XX (DAVID; BUNN 1988) demonstra o caráter sistêmico do desenvolvimento inovativo da indústria, inclusive com o estabelecimento de normas técnicas que viabilizaram o avanço tecnológico do setor. Como assinalado por Araujo *et al* (1995), a indústria de eletricidade, tendo vista a existência de importantes raízes técnicas se caracteriza por verticalização, integração e coordenação. Portanto, trata-se de uma indústria em rede, na qual, até mais do que em outras atividades, a inovação virtuosa sempre ocorreu de forma sistêmica.

De fato, a transmissão e distribuição de eletricidade requerem uma rede física, de duplicação custosa e fortes economias de escala (o que levou os órgãos públicos a tratar as empresas de distribuição como monopólios naturais), e que interliga geradoras e distribuidoras permanentemente em equilíbrio estático e dinâmico (sob pena de colapso do sistema).

Atualmente, a indústria de energia elétrica global está passando por um período de expansão e marcada por constantes inovações tecnológicas para atender às crescentes necessidades energéticas do planeta. Um aspecto crucial do sistema de energia é a melhoria na eficiência energética. Estima-se que grande parte das inovações será voltada para aumento de eficiência energética, que contribuirá para a redução da demanda e reduzir a necessidade de novas adições de geração (THOMAS, 2009).

Em relação às tecnologias de geração de energia renovável, espera-se que estas se expandam significativamente, tanto no total de GW adicionado quanto no percentual de contribuição para o total de energia consumida. Ou seja, o consumo de energia será mais especializado em energia renovável. Porém, é importante ressaltar que as energias renováveis ainda não substituem totalmente a necessidade de uma nova geração de carga, em função da intermitência das fontes renováveis de energia. A expectativa é que a geração fóssil continuará ser relevante, mas existem avanços tecnológicos para contornar as fragilidades associados à intermitência das fontes renováveis, como por exemplo, a possibilidade de desenvolvimento de *storage*. Países, como EUA e Alemanha, possuem metas ambiciosas de fontes renováveis para 2050.

Avanços tecnológicos em relação à transmissão em corrente ultra alta (corrente alternada ou corrente contínua) vão se tornar cada vez mais centrais no sistema elétrico em função no aumento da distância entre a geração de energia e os centros urbanos consumidores de energia, que obriga o sistema elétrico a desenvolver redes de transmissão cada vez maiores. O desenvolvimento de Sistemas de Automação de Redes de Distribuição também será uma tendência do setor vai ajudar a otimizar a confiabilidade e o desempenho dos sistemas de distribuição. Espera-se que grandes investimentos sejam realizados em novos sistemas de gestão e automação de distribuição. Inovações como o desenvol-

vimento de *smart grid* vão permitir o crescimento da rede elétrica e ajudar os planejadores e operadores do sistema elétrico a operarem um sistema de complexidade crescente de despacho de energia. Demais, estas redes inteligentes permitem integrar fontes renováveis e intermitentes, as quais são essenciais para mitigar emissões de gases do efeito estufa. Não obstante, dotarão o sistema de maior eficiência e qualidade.

Dessa forma, a trajetória tecnológica global do setor elétrico se encontra em um momento de grandes transformações e perante grandes desafios tecnológicos. Segundo Thomas (2009, pg. 5): “There has never been a better time to be a power systems engineer leading this industry transformation”.

No bojo destas transformações, o papel do Estado na evolução dos diferentes sistemas nacionais de inovação volta a exercer papel central. Este papel foi reconhecido no passado, mas a partir dos anos 1990, diversas mudanças associadas à globalização e financeirização da economia colocaram em cheque algumas das atividades públicas na área, questionando os modelos institucionais vigentes que se baseavam numa forte presença estatal (ARAÚJO; OLIVEIRA, 1995),

Apesar de que as reformas implementadas levaram a uma diminuição do papel do Estado, foram preservadas uma série de atividades sob controle público direto (por exemplo, nos EUA, todas as grandes hidrelétricas permanecem propriedade do governo federal). Do ponto de vista dos objetivos deste trabalho, o papel do Estado na coordenação, apoio e comando dos sistemas nacionais de inovação dos principais foi, não apenas mantido, mas até ampliado.

No caso dos EUA, energia, junto com defesa e saúde tem se constituído no principal elemento da política tecnológica e de inovação, com o *Department of Energy* recebendo um dos maiores orçamentos para a pesquisa no país. Newell (2011), analisando a história do sistema de inovação dos EUA em energia, nota que, desde a virada do milênio vem havendo um incremento gradual e substantivo dos recursos para o desenvolvimento tecnológico em energia. A particular importância do setor no orçamento público de P&D no país parece estar ligada, por um lado, aos amplos esforços históricos de autonomia energética e detenção e uso da tecnologia nuclear no país e, por outro, pelo mais recente viés político e ideológico frente a energias limpas.

Os princípios norteadores das políticas energéticas para o país fundam-se, sobretudo, na redução da dependência externa do petróleo, na redução dos gases do efeito estufa e na modernização da infraestrutura energética (NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING *et al.*, 2010), que já se encontra bastante envelhecida. Cumpre notar, ainda, que o *US Department of Energy*, na intenção de buscar maior capacidade inovativa para a sua organização e aumentar a orientação por missões de suas atividades, criou, recentemente, a ARPA-E (*Advanced Research Projects Agency-Energy*). Ela é uma agência do governo dos Estados Unidos encarregada de promover e financiar a pesquisa e desenvolvimento de

tecnologias avançadas de energia. A ideia é que esta organização atue no setor de energia da mesma forma que a Darpa² (*Defense Advanced Research Projects Agency*) opera na área de defesa, em todas as fases do processo sistêmico da inovação.

2.5 - A Inovação Sistêmica e o Setor Elétrico Brasileiro

Em relação ao cenário nacional, o país é um importante player global no setor de energia, tanto enquanto mercado consumidor quanto em relação ao desenvolvimento tecnológico. Segundo a *Global Energy Statistical Yearbook 2015*, o Brasil foi, em 2014, o décimo maior produtor de energia e o sétimo maior mercado consumidor de energia do mundo. Em relação à energia elétrica, o Brasil foi em 2014 o oitavo produtor global, com o sétimo maior mercado consumidor. Em relação às energias renováveis (incluindo hidrelétrica), o Brasil foi em 2014 o terceiro país com maior participação de energias renováveis em sua matriz elétrica e o segundo país em atratividade de investimentos em energia renovável.

Em relação à dimensão tecnológica, o Brasil desenvolveu fortes capacidades científicas e tecnológicas em distintas fontes de energia ao longo de sua história, tanto nas áreas relacionadas ao setor elétrico, quanto na área de petróleo e energia nuclear. Em muitas destas áreas, o país foi pioneiro no desenvolvimento tecnológico e se tornou referência global, como por exemplo, na exploração de petróleo em águas profundas, na construção de grandes barragens para hidrelétricas. De um modo geral, estas conquistas foram fruto de políticas sistêmicas, atreladas a um projeto de desenvolvimento nacional de longo prazo adotado entre as décadas de 50 e 70 (ARAÚJO *et al.* 1995).

Apesar de o Brasil ter interessantes casos de desenvolvimento tecnológico em diversas áreas da energia, este artigo irá focar a sua análise na evolução das capacidades tecnológicas relacionada à eletricidade, enfatizando a energia eólica.

2.5.1 - Características do SEB e seus Processos de Inovação

A formação do setor elétrico teve início no fim do século XIX, quando o uso da eletricidade para fins de iluminação tornou-se tão popular que causou um impacto econômico sem precedentes. Segundo Oliveira (2011), a trajetória tecnológica da indústria elétrica é marcada por duas características principais. A primeira delas é o ganho de escala desta atividade que gera maior eficiência e menores custos de geração. A segunda é a grande disseminação da energia elétrica, em que diversos consumidores estão integrados em rede. Isso é um

² Agência do Departamento de Defesa dos EUA, responsável pelo desenvolvimento de tecnologias emergentes para fins militares.

reflexo da dificuldade de se armazenar a energia, uma vez que existe um ganho na ligação dos usuários em uma rede unificada.

Durante os anos 1960 e 1970, o Brasil investiu pesadamente no desenvolvimento do setor elétrico brasileiro, que cresceu exponencialmente neste período e desenvolveu inúmeras inovações tecnológicas significativas. Foi neste período, por exemplo, que o Brasil construiu a maior hidrelétrica do mundo, Itaipu.

Segundo Oliveira (2011), o modelo brasileiro de energia elétrica era totalmente coerente com as condições brasileiras. Este modelo era baseado em monopólios regionais de produção de energia, pois a exploração de hidrelétricas requeria grandes investimentos em infraestrutura enquanto o transporte e a distribuição eram integrados em uma única rede, permitindo um aproveitamento mais racional dos recursos.

Em meados dos anos 1990, o governo iniciou uma série de reformas que incluía a privatização o setor elétrico. Em 2004, instituiu-se o novo modelo do setor elétrico, retornando ao Estado a responsabilidade de planejamento do setor. Os principais objetivos do modelo eram promover a modicidade tarifária, garantir a segurança no fornecimento de energia e promover a inserção social.

Foge ao escopo deste capítulo analisar pormenor o processo de privatização do SEB e a reforma de 2004, mas apenas sublinhar as possíveis consequências deste processo no tocante a capacidade do SEB de introduzir e desenvolver processos de inovação.

Vieira *et al.* (2010) afirma que a privatização do SEB impactaram negativamente várias cadeias produtivas, pois ao invés de gerar investimentos em ganhos de produtividade baseados em aumento de economia de escala e eficiência em gestão empresarial e tecnologia — ou gerar inovação em processos e produtos —, enfatizaram ganhos de produtividade pela diminuição da quantidade de trabalho, via demissões, terceirização e importação de soluções tecnológicas advindas do exterior.

Dessa forma, ao invés de investimento em processo de inovação que são associados a elevados riscos ou a expansão do SEB, estas empresas passaram a direcionar seus investimentos, sobretudo para a compra de participação acionária em outras companhias do setor. Dessa forma, houve troca de acionista entre as empresas do setor elétrico brasileiro, mas pouco investimento na sua expansão, além de baixas taxas de investimento em inovação.

Como forma de estimular os investimentos no SEB, é promulgada a Lei 9991/2000, que instaura o Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da ANEEL, que determina às empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do serviço público de energia elétrica realizar investimentos mínimos nestas atividades, de acordo com regulamentação definida pela ANEEL.

Porém, a falta de investimento do período pós-privatização impõe ao País uma grave uma crise de racionamento em 2001.

De forma sucinta, o diagnóstico dos fatores originários da crise pode ser agregado do seguinte modo (ESPOSITO, 2010):

1. Indefinições no processo de privatização, executado de forma significativa apenas no segmento de distribuição, paralisaram as estatais e inibiram a iniciativa do setor privado para investir em novos ativos, pois o foco estava direcionado para aquisição dos ativos existentes;
2. Perda de coordenação dos investimentos do setor, que deixou de ser exercida pelo Sistema Eletrobrás, sem ser assumida por alguma instituição de governo, nem suficientemente coordenada por sinais de mercado.

Conforme já mencionado, em 2004 foi instituído o novo marco regulatório do SEB. Nele, dentre as diversas modificações relevantes, sublinha a retomada do planejamento da expansão, com a criação de uma empresa estatal, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), subordinada ao Ministério de Minas e Energia (MME). Em decorrência das diversas modificações do marco regulatório em 2004, houve uma retomada dos investimentos no segmento de geração de eletricidade num ritmo não observado no período pós-privatização (ESPOSITO, 2010).

Como mostra Esposito (2010), os anos seguintes da reforma foram seguidos por forte expansão em diversas fontes de energia elétrica. Porém, Massaguer *et al.* (2013) analisou os processos de inovação no SEB após as reformas e concluiu há muitas fragilidades em relação a capacidade inovativa do SEB. Ou seja, mesmo com a retomada dos investimentos pós reforma, estes foram direcionados mais para a expansão do sistema que para a incorporação de processos inovativos.

Segundo Massaguer *et al.* (2013), os processos de inovação tendem a se concentrar nas empresas fornecedoras deste segmento e trata-se basicamente de processos de modernizações, ou, no melhor dos casos, de inovações incrementais.

Outro ponto de crítica interessante de Massaguer *et al.* (2013) é que, com exceção da cadeia de transmissão, os demais segmentos do SEB têm forte presença de capital internacional³. Nesta linha, Vieira *et al.* (2010) apontam para a importância da empresa de capital nacional no SEB. Segundo os autores, a empresa nacional possui a capacidade de criar e desenvolver o vínculo natural da cultura com o trabalho e a tecnologia, que propiciam bases para o desenvolvimento das dimensões industriais e sistêmicas da energia. Oliveira (2011) também afirma que a ausência de um forte *player* nacional faz que as empresas do setor – geração, transmissão e distribuição – trabalhem de forma desconectada da cadeia produtiva local. Segundo o autor, o processo de aprendizado

³ A escassez de *players* nacionais é vista por diversos autores (CASSIOLATO; LASTERS, 2002; PODCAMENI, 2014) como um elemento inibidor de processo de inovação.

e desenvolvimento tecnológico local tende a ficar fortemente comprometido nesta situação.

Já em relação à capacitação científica, Massaguer *et al.* (2013) apontam para avanços e sublinham o aumento da produção do conhecimento relacionado ao setor. No período anterior a 1997, havia 65 grupos de pesquisa cadastrados no país que desenvolviam algum tipo de conhecimento relacionado ao setor, em 2011 este número aumentou para 311. Porém, apesar deste aumento, dados sobre projetos completados dentro de dois ciclos de P&D da ANEEL (2006/2007 e 2007/2008) evidenciam que praticamente todo o valor financiado foi executado extramuros das empresas e em sua maioria em organizações de pesquisa (MASSAGUER *et al.*, 2013).

Polito (2011) reforça a esta evidência e afirma que o programa de P&D da ANEEL estava mais voltado para pesquisa do que para desenvolvimento, uma vez que grande parte dos projetos foi desenvolvida em parcerias com centros de pesquisas e universidades e não atingiu escala industrial e aplicação no sistema elétrico.

Cabello e Pompermayer (2011) analisaram qualitativamente os projetos apoiados pelo programa de P&D regulado pela Aneel. Segundo os autores, a maioria dos projetos tenta resolver, por meio de inovações incrementais, os problemas práticos das empresas. Ou seja, parte significativa dos recursos do programa se destinou a projetos que nem deveriam ser classificados como P&D.

Essas evidências são reforçadas por Oliveira (2011), que mostrou que as tecnologias mais pesquisadas no programa estavam relacionadas a áreas e problemas operacionais dos agentes, sem forte relação com as tecnologias de fronteira do setor elétrico especificamente.

Em 2008, com o objetivo de aumentar a agilidade do programa, o processo de aprovação foi modificado. A partir daquele ano passou a ser facultativa a submissão dos projetos de P&D para avaliação inicial da ANEEL e os projetos poderiam ser implementados e enviados à ANEEL apenas no final. Mas esta nova regra representou um aumento no risco associado aos projetos de P&D, uma vez que estes poderiam não ser aprovados pela ANEEL após a execução. Segundo a nova regra, os projetos que forem reprovados, ou aprovados parcialmente, deverão ter os seus gastos realizados e não reconhecidos estornados para a conta contábil de P&D (PODCAMENI, 2014).

Segundo Neves (2011), a mudança no Programa de P&D da ANEEL foi estimulada pela falta de recursos da agência para avaliar todos os projetos recebidos, o que resultava na aprovação de projetos sem a devida relevância. As empresas, tendo o projeto aprovado antecipadamente pela ANEEL, não se preocupavam com ajustes, mas somente em executá-lo, pois tinham a garantia que após a execução teriam o investimento reembolsado. A partir de 2008, mesmo que o projeto tenha parecer positivo em seu julgamento inicial, isso não garante

sua aprovação após a execução, na avaliação final da ANEEL, que é obrigatória (NEVES, 2011).

De fato, esta mudança desburocratizou os gastos de P&D no SEB e, neste sentido, incentivou estes investimentos. Porém, esta mudança parece contribuir para que os agentes evitem alocar os recursos do programa em projetos que não seriam de P&D, devido à avaliação do projeto ser realizada apenas ao seu fim, aumentando os riscos de tais gastos não serem aceitos.

Segundo Massaguer *et al.* (2013), estas mudanças na regulamentação do programa implicaram em uma alteração no perfil do risco dos projetos de P&D, que passou de “baixo risco” para “alto risco”. Isso significa que, os riscos que eram compartilhados com a ANEEL por uma aprovação *ex-ante* com foco no mérito de P&D dos projetos, passaram a ser riscos somente das concessionárias, pela aprovação da ANEEL apenas *ex-post*, com foco em resultados concretos dos projetos. Segundo os autores: “Uma vez mais repete-se a postura dúbia do órgão regulador entre estimular e desestimular o esforço inovador” (MASSAGUER *et al.*, 2013, pg. 16).

Pfitzner *et al.* (2011) apontam que mesmo com a recente expansão dos gastos em P&D – fruto de requerimentos legais – a produção tecnológica patentária reduziu-se no último quinquênio (2006- 2011). Os autores também argumentam que não exista correlação entre elevação nos investimentos de P&D&I e melhoria no desempenho operacional do sistema elétrico brasileiro. Ademais, os autores argumentam que baixo volume de inventores com publicações científicas em coautoria revela um baixo intercâmbio de conhecimento científico entre os agentes do SEB.

Outra fonte crítica recorrente ao programa é a falta de uma articulação dos projetos com as necessidades do País e com a política industrial e tecnológica. Para tentar reduzir a falta convergência, foi criado o Projeto de P&D estratégico da ANEEL, com a aprovação da Resolução Normativa nº 316/2008. Através do uso de chamadas temáticas, a agência define critérios para que as empresas interessadas apresentem propostas de projetos considerados estratégicos para o setor elétrico nacional. Adicionalmente, também a partir de 2008, o programa ganhou um caráter mais dirigista. Foram definidos onze temas considerados como prioritários e estratégicos. Desde então, os projetos de P&D do programa devem estar alinhados com tais temas (PODCAMENI, 2014).

Cabello e Pompermayer (2011) acreditam que a criação dos projetos estratégicos no programa da Aneel possa ser positiva no sentido de ajudar os agentes que não têm capacidade de identificar temas a serem abordados usando seus recursos para P&D. Os autores também afirmam que a ampliação de projetos cooperativos também tende a promover o estudo de problemas mais complexos do setor.

Em suma, o SEB tinha desenvolvido historicamente uma capacitação tecnológica sólida, que foi desmantelada junto com o processo de privatização que ocorreu em meados da década de 90. A reforma do SEB que ocorreu 2004 pode ser considerada um avanço, principalmente em relação à recuperação da capacidade do setor de alavancar investimentos e se expandir. Porém, em relação à capacidade inovativa, esta recuperação não correu de forma satisfatória ainda. Apesar dos esforços de política, como a instauração do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da ANEEL, estes esforços se concentraram em sua maioria em capacitação científica e na introdução de inovações incrementais, geralmente no segmento de fornecedores. Ou seja, o sistema nacional de energia elétrica ainda possui vulnerabilidade. Dentre as diversas razões cita-se as inúmeras fragilidades da política de P&D da Aneel e o fato de que a segmentação do SEB implicou em perdas de eficiência sistêmicas que eram relevantes para o processo de inovação. Ademais, o papel do governo apenas como regulador também reduziu a possibilidade do governo em praticar políticas públicas essenciais para a promoção dos processos de inovação tais como políticas de compras públicas de equipamentos e insumos. Assim, mesmo com a reforma de 2004, o governo ainda possui significativos desafios em relação ao fortalecimento da capacidade inovativa do SEB.

A próxima seção apresenta sucintamente alguns desafios relacionados ao SEB, enfatizando a fonte de energia eólica, uma vez que esta fonte de energia possui uma trajetória relativamente recente no Brasil e com elevado potencial.

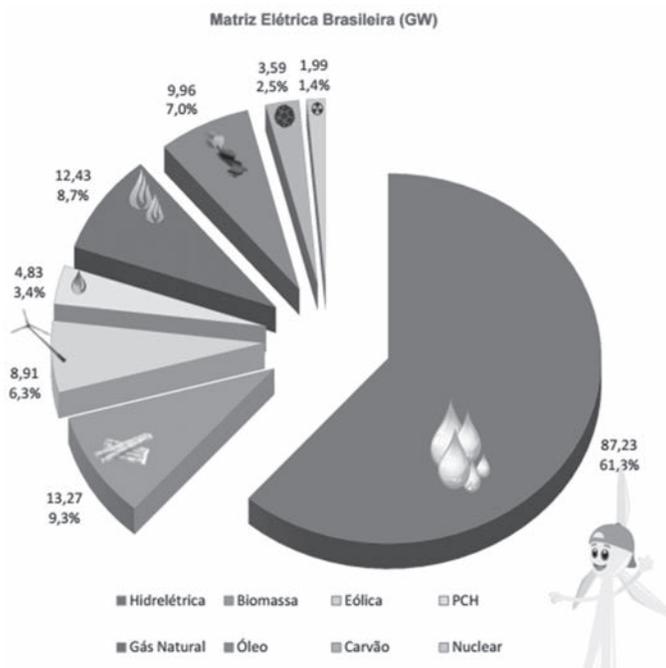
2.5.2 - Desafios do SEB

De um modo geral, o modelo desenvolvimento da indústria de energia no mundo tem sido desafiado em diversas dimensões: da sustentabilidade ambiental, da segurança de abastecimento, do desenvolvimento tecnológico e da capacidade de ganhos de eficiência. Diferentes países têm buscado soluções econômicas, políticas e tecnológicas que permitam lidar com estes desafios. De fato, as emissões de dióxido de carbono e outros gases poluentes são diretamente associados aos padrões de geração e uso de energia e estas duas atividades são as que mais têm contribuído para seu aumento dado que, por mais de um século, a grande maioria das economias tem dependido de combustíveis fósseis para a geração de eletricidade e para os combustíveis necessários ao transporte. Mais ainda, o crescimento das economias nacionais tem sido dependente da disponibilidade de energia abundante a preços relativamente baixos. A substituição (mesmo parcial) dos combustíveis fósseis por energias renováveis representa um avanço do ponto de vista ecológico. Reduzir o consumo de combustíveis fósseis e de outros recursos que são facilmente esgotáveis ou danosos ao meio ambiente,

substituindo-os por recursos ou produtos renováveis e/ou abundantes é essencial para manter o equilíbrio ecológico do planeta.

Enquanto o mundo se esforça para limpar a sua matriz elétrica, o Brasil já possui uma das matrizes mais limpas do mundo. Como mostrado na figura 1, em 2016, mais de 70% da nossa matriz elétrica advém de fontes renováveis de energia, sendo que um pouco de 60% é oriunda de grandes centrais hidrelétricas.

Figura 1 – Matriz Elétrica Brasileira



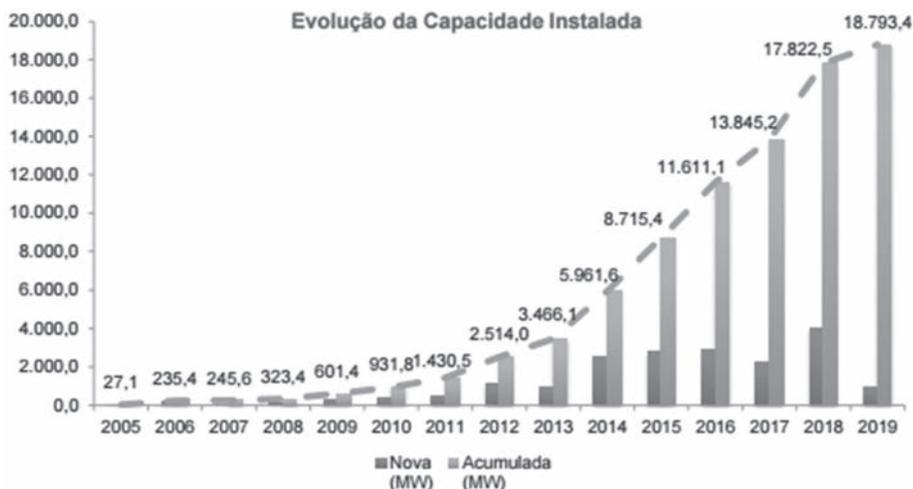
Fonte: Abeeolica (2016).

Porém, apesar de ter uma matriz elétrica ambientalmente limpa, é importante mostrar houve um recuo da participação de renováveis na matriz elétrica, de 84,5% em 2012 para 70% em 2016. Este recuo foi fruto da redução de oferta de fonte hidráulica, que foi compensada pela uma expansão da utilização das térmicas a carvão, que expandiu as emissões de dióxido de carbono oriundo da nossa matriz elétrica⁴. Neste mesmo período houve uma expansão muito

⁴ As emissões de CO₂ geradas por usinas térmicas, no Brasil aumentaram 122% no período entre 1994 e 2007, notadamente a partir de 2000. Elas cresceram de 10,8 milhões, em 1994, para 24,1 milhões de toneladas de CO₂, em 2007, de acordo com estimativa divulgada pelo Ministério do Meio Ambiente. Nesse período, a capacidade instalada de térmicas cresceu 202%, passando de 7.051 MW para 21.324 MW.

acentuada da oferta de fonte eólica no País. A figura 2 mostra a capacidade instalada da fonte eólica e sua participação na matriz elétrica Brasileira no Período 2005-2016. Vale ressaltar que o Brasil já tem contratados 18,8 GW que deverão ser instalados até 2019.

Figura 2 - Capacidade Instalada de Energia Eólica na Matriz Elétrica Brasileira (GW)



Fonte: Abeeolica (2016).

A necessidade de inserção da fonte eólica na matriz energética brasileira tem sido reforçada em função das condições hidrológicas desfavoráveis observadas ao longo dos anos e da tendência de redução do tamanho dos reservatórios das novas centrais hidrelétrica. O potencial hidrelétrico brasileiro remanescente se concentra na região Norte, onde as exigências socioambientais de empreendimentos hidrelétricos na Amazônia exigem a construção de hidrelétricas com armazenamento a fio d'água que possuem capacidade reduzida.

Ademais, os ventos brasileiros possuem uma forte complementaridade entre o regime de ventos e o regime de chuvas em diversas regiões, principalmente na região Nordeste. Esta complementaridade significa que quando há pouca chuva (com os reservatórios das hidrelétricas mais vazios) há mais vento, diminuindo o uso dos reservatórios. E nos períodos de chuva há menor risco de haver necessidade de verter água. Esta complementaridade não é um fenômeno comum. Em diversos países ocorre o oposto: os ventos coincidem com os períodos de chuva (SIMÕES, 2010).

Outra característica singular dos ventos brasileiros é que estes costumam ser unidirecionais com velocidades relativamente constantes e poucas rajadas,

principalmente na região Nordeste⁵. A baixa variância de velocidade e direção aumenta o aproveitamento eólico e, por isso, o vento brasileiro está dentre os melhores ventos do mundo para aproveitamento de energia (DUTRA 2004).

A energia eólica possui, portanto, uma importância crescente na segurança energética do País, principalmente após a crise energética de 2001 e no atual cenário de perspectiva de crise energética. A expectativa da EPE é que a energia eólica seja responsável por 7% da matriz energética em 2020.

O rápido crescimento da fonte eólica no Brasil aumentou a demanda por equipamentos e estimulou o desenvolvimento de uma indústria eólica local, principalmente a partir de 2011.

Junto com o desenvolvimento da cadeia produtiva de equipamentos eólicos, o país implementou um conjunto de políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação (CTI) voltadas para esta fonte eólica, com intuito de fortalecer capacidades científicas e tecnológicas associadas a fonte eólica. Podcameni (2014) analisou a evolução da energia eólica no Brasil, enfatizando a transformação da estrutura produtiva e de C&T, dos processos de inovação e o papel que as políticas têm desempenhado nesta dinâmica. As análises apresentadas pela autora sobre os processos de inovação da fonte eólica convergem com os diagnósticos apresentados na seção anterior sobre os processos de inovação no SEB.

Podcameni (2014) argumenta que o Brasil tem apostado numa estratégia de desenvolvimento da cadeia produtiva eólica baseada na atração de investimento direto externo. Outra importante constatação da autora é que a origem do capital é relevante para determinar as estratégias de produção e inovação de uma empresa. As evidências apontaram que a geração de conhecimento associada ao desenvolvimento inovativo das empresas transnacionais (ETNs) está severamente concentrada nos grandes centros de P&D das firmas localizados nos países desenvolvidos e não há perspectivas de desconcentrar tais atividades. Já as empresas nacionais desenvolvem seus esforços inovativos no País e pretendem ampliá-los.

Estas evidências reiteram os argumentos de Amsden (2007), que afirma que as atividades de alto valor agregado são mantidas na matriz e quando internacionalizadas, concentram-se em processos de menor sofisticação. Segundo a autora, não é possível realizar P&D de fronteira através de empresas estrangeiras.

A falta de interesse das filiais das ETNs em desenvolver uma estratégia de inovação no País também converge com o argumento de Chesnais (1992; 2014) e Cassiolato (2013). Os autores apontam que o objetivo destas é se apropriar dos diferentes tipos de insumos do processo inovativo de forma a minimizar

⁵ Os ventos possuem características distintas ao longo do país. Os ventos do extremo sul do país, por exemplo, tendem a ser mais intensos e a apresentarem fortes rajadas. Porém, de uma maneira geral, é possível afirmar que, na média, e principalmente na região Nordeste, os ventos brasileiros tendem a ser unidirecionais e com poucas rajadas.

seus custos. Os autores argumentam que há uma subordinação das atividades de inovação das filiais das ETNs à estratégia central de maximização de valor de curto prazo e uma subordinação das estratégias de inovação aos ditames das finanças.

Em relação aos programas de CTI, foi constatado que estes são baseados em uma visão linear do processo, pela qual a pesquisa leva naturalmente a inovações. Dessa forma, os programas de CTI no Brasil tendem a focar no lado da oferta, disponibilizando financiamento para as atividades de P&D e para investimentos em infraestrutura de CTI - da mesma forma que o programa de P&D da Aneel. Há, porém, lacunas significativas entre as atividades de P&D realizadas e a inovação, com inúmeras barreiras técnicas e econômicas a serem superadas para que os resultados alcançados nos laboratórios sejam produzidos em escala industrial e inseridos no mercado.

Outra medida das limitações das políticas de CTI em eólica se refere à sua forte desconexão com as demais políticas para o setor e com a evolução do sistema produtivo. Isto é, os programas de CTI apoiaram segmentos que não eram os mais relevantes do ponto de vista da evolução da política implícita e da própria estrutura produtiva – outra importante semelhança com o programa de P&D da Aneel. Por exemplo, enquanto o setor de aerogerador de grande porte se desenvolvia no país, as políticas de CTI se concentraram basicamente em aerogeradores de pequeno porte. Ou seja, as políticas de CTI estavam desconectadas da evolução da fonte eólica no País.

Ademais, vale ressaltar que as políticas de CTI no Brasil tendem a adotar uma visão excessivamente setorial e raramente são coordenadas com as demais políticas do País. Assim, é comum que os resultados estabelecidos pela política de CTI não sejam alcançados em função de outras políticas como, por exemplo, a tributária, a cambial e a fiscal. Em contraposição às políticas de CTI lineares adotadas no Brasil, as experiências internacionais virtuosas foram baseadas em uma visão sistêmica da inovação. Os países com experiências virtuosas utilizaram, além da política de CTI, uma grande variedade de outras políticas, tais como educacional, tributária e fiscal, para desenvolver processo de inovação. Adicionalmente, nestes países com experiências bem sucedidas, as políticas de CTI eram modificadas de acordo com a evolução do contexto. Um exemplo interessante foi a experiência chinesa, cujas políticas tributárias sobre a importação de equipamentos eólicos foram se alterando de acordo com a capacidade produtivas das empresas chinesas.

Neste contexto, o SNI de energia eólica no Brasil foi caracterizado por Podcameni (2014) como frágil em função da desarticulação e fragmentação das instituições que compõem.

Por fim, Podcameni (2014) recomenda que haja um alinhamento das políticas em torno de um projeto de desenvolvimento sistêmico e contextualizado

com as especificidades locais. É, portanto, fundamental reconhecer a inovação como um elemento dinamizador e resultante de um processo sistêmico e, a partir daí, elaborar políticas que considerem todos os agentes deste sistema, suas interações, especificidades e contextos, a fim de mobilizá-los adequadamente, estimulando todo o sistema a buscar, de forma integrada e coordenada, a inovação adequada ao contexto local. Assim, à luz do desenvolvimento de uma visão sistêmica e do alinhamento entre os elementos que compõe o Sistema Nacional de Inovação, será possível o fortalecimento das capacitações científicas, tecnológicas e produtivas brasileiras.

Conclusão

A promoção de sistemas de produção e inovação tem sido visto como um novo tipo de política para o desenvolvimento industrial e tecnológico, e que é capaz de lidar com as especificidades do novo padrão de acumulação. No entanto, para que a ênfase nos ASPILs possam significar mais do que simplesmente usar novas etiquetas para velhas práticas, a fim de seguir a última moda e ter acesso às políticas, abordagens analíticas e normativas devem avançar e incorporar verdadeiramente a essência dos conceitos em questão. Existe a necessidade de uma melhor compreensão dos conceitos de desenvolvimento, competitividade, inovação e arranjos e sistemas produtivos e inovativos locais entre pesquisadores, *policy makerse* todos os que implementam políticas.

Este texto argumentou que as políticas de inovação que dão resultado são as que vão muito além da P&D e percebem a inovação de forma sistêmica. É necessário que o Estado recupere a sua capacidade de planejamento de longo prazo, assumindo um papel mais atuante e que promova a inovação de forma mais ampla.

Referências Bibliográficas

AMSDEN, A. *Escape from Empire: The Developing World's Journey through Heaven and Hell*, MIT Press, 2007.

ARAÚJO, J. L. R. H.; OLIVEIRA, A. *Questões de política energética brasileira para o fim do século*. IE/UFRJ, 1995.

ARAÚJO, J. L.; OLIVEIRA, A.; GUIMARÃES, E. A.; TOLIPAN, R. *Strategies and Instruments to Promote Energy Efficiency in Developing Countries: Regional Project Study on LatinAmerica*, Relatório IEI, parte de projeto cooperativo com ECN (Holanda), TERI (Índia), ENDA (Senegal). 1994.

CASSIOLATO, J.E.; LASTRES, H.M.M. Sistemas de inovação e desenvolvimento: as implicações de política.São Paulo em Perspectiva, v. 19, n.1, p.34-45, jan.-mar.2005.

CASSIOLATO, J.E. et al. Innovation Systems and Development: what can we learn from the Latin American experience? III GLOBELICS CONFERENCE, Pretoria. Disponível em<[www.sinal.redesist ie.ufrj.br](http://www.sinal.redesist.ie.ufrj.br)>. 2005.

CASSIOLATO, J.E.; LASTRES, H.M.M. O foco em arranjos e sistemas produtivos e inovativos locais. In: LASTRES, H.M.M.; CASSIOLATO, J.E.; MACIEL, M.L. (Eds.). Pequena empresa: cooperação e desenvolvimento local. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2003.

CASSIOLATO, J.E.; LASTRES, H.M.M.; MACIEL, M.M.L. (Eds.) Systems of innovation and development: evidence from Brazil. Cheltenham: Elgar,2003.

CASSIOLATO, J.E.; LASTRES, H.M. Inovação, globalização e as novas políticas de desenvolvimento industrial e tecnológico. In: CASSIOLATO, J.E; LASTRES, H.M.M. (Eds.). Globalização e inovação localizada: experiências de sistemas locais no Mercosul, Brasília, MCT/IBICT, 1999.

CASSIOLATO, J.E. et al. Fronteiras tecnológicas subordinadas a estratégias nacionais de desenvolvimento: as experiências dos Estados Unidos da América, da China, do Japão e da Alemanha. In CAEBSXXI (ed) Dimensões estratégicas do desenvolvimento brasileiro: Volume 2 As fronteiras do conhecimento e da inovação: oportunidades, restrições e alternativas estratégicas para o Brasil. Brasília, CGEE, 2014.

COOKE, P.; MORGAN, K. The associational economy: firms, regions and innovation, New York: Oxford University Press, 1998.

DAVID, P. A.; BUNN, J. A. (1988). The economics of gateway technologies and network evolution: Lessons from electricity supply history. Information economics and policy, 3(2), 165-202.

DOSI, G. The nature of the innovative process. In: DOSI, G. et al. (Eds.). Technical change and economic theory. Londres: Pinter Publishers, 1988.

DOSI, G. et al. (Eds.). Technical change and economic theory. Londres: Pinter Publishers. 1988.

DUTRA, R. M. Energia Eólica. In: Mauricio Tiomno Tolmasquim. (Org.). Alternativas Energéticas Sustentáveis no Brasil. 1ed. Rio de Janeiro: Relume Dumará, v. 1, p. 179-266, 2004.

FAJNZYLBER, F. Competitividad internacional: evolución y lecciones. Revista de la CEPAL, 36, 1988.

FREEMAN, C. Technological infrastructure and international competitiveness. Texto submetido ao OECD ad hoc group on science, technology and competitiveness. Paris: OCDE, 1982a.

FREEMAN, C. Innovation and long cycles of economic development. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1982b.

FREEMAN, C. The economics of industrial innovation. Londres: Frances Pinter, 1982c.

FREEMAN, C. Technology policy and economic performance- lessons from Japan. Londres: Frances Pinter, 1987.

FREEMAN, C. Diffusion: the spread of new technologies to firms, sectors and nations. In: HEERTJE, A. (Ed.). Innovation, Technology and Finance. Oxford, Basil Blackwell, 1988.

FREEMAN, C. The national innovation systems in historical perspective. Cambridge Journal of Economics, v.19, n.1, p.5-24, 1995.

FREEMAN, C. Innovation systems: city-state, national, continental and sub-national. In: CASSIOLATO, J.E.; LASTRES, H.M.M. (Eds.). Globalização e inovação localizada: experiências de sistemas locais no Mercosul. Brasília: MCT/IBICT, 1999.

FREEMAN, C.; PEREZ, C. Structural crises of adjustment, business cycles and investment behaviour. In: DOSI, G.; FREEMAN, C. et al. (Eds.). Technical change and economic theory. Londres: Pinter, 1988.

FREEMAN, C.; SOETE, L. The Economics of Industrial Innovation. 3ª ed. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1997.

FURTADO, C. O. Capitalismo Global. São Paulo: Paz e Terra, 1998.

FURTADO, C. Desenvolvimento e subdesenvolvimento. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1961.

GARRITY, Thomas F. "Innovation and trends for future electric power systems." In Power Systems Conference, 2009. PSC'09. pp. 1-8. IEEE, 2009.

GEORGHIOU, L. et al. Post-innovation performance: technological development and competition. Londres: The Mac Millan Press, 1986.

HERRERA, A. Los Determinantes Sociales de la Política Científica en América Latina. In: SÁBATO, J. (Ed.). El pensamiento Latinoamericano ciencia-tecnología desarrollo-dependencia. Buenos Aires: Paidós, 1971.

IMAI, K-I; BABA, Y. Systemic innovation and cross-border networks. In: International Seminar on Science, Technology and Economic Growth. Paris: OCDE, 1989.

JOHNSON, B.; LUNDEVALL, B.-Å. Promoting innovation systems as a response to the globalising learning economy. CASSIOLATO, J.E.; LASTRES, H.M.M.; MACIEL, M.M.L. (Eds.). Systems of innovation and development: evidence from Brazil. Cheltenham: Elgar, 2003.

JOHNSON, B. Institutional learning. In: Lundvall, B.-Å. (Ed.). National innovation systems: towards a theory of innovation and interactive learning. London: Pinter Publishers, 1992.

KLEVORICK, A.K. et al. On the sources and significance of inter-industry differences in technological opportunities. Research Policy, v.24, p.185-205, 1995.

LASTRES, H.M.M. The advanced materials revolution and the Japanese system of innovation. Londres: Mac Millan, 1994.

LASTRES, H.M.M.; CASSIOLATO, J.E; CAMPOS, R. Arranjos e sistemas produtivos e inovativos locais: vantagens do enfoque. In: LASTRES, H.M.M.E.; CASSIOLATO, J.E. (Orgs.) Estratégias para o desenvolvimento: um enfoque sobre arranjos produtivos locais do Norte, Nordeste e Centro-Oeste brasileiros. Rio de Janeiro: E-Papers, 2006.

LASTRES, H.M.M.; CASSIOLATO, J.E.; MATOS, M. Desafios do uso do enfoque em arranjos e sistemas produtivos e inovativos locais no Brasil. In: LASTRES, H.M.M.; CASSIOLATO, J.E. (Orgs.). Estratégias para o desenvolvimento: um enfoque sobre arranjos produtivos locais do Norte, Nordeste e Centro-Oeste brasileiros. Rio de Janeiro: E-Papers, 2006.

LASTRES, H.M.M., CASSIOLATO, J.E.; MACIEL, M.L. Systems of innovation for development in the knowledge era: an introduction. CASSIOLATO, J.E.; LASTRES, H.M.M.; MACIEL, M.M.L. (Eds.). *Systems of Innovation and development: evidence from Brazil*. Cheltenham: Elgar, 2003.

LASTRES, H.M.M.; CASSIOLATO, J.E.; ARROIO, A. Sistemas de inovação e desenvolvimento: mitos e realidades da economia do conhecimento In: LASTRES, H.M.M.; CASSIOLATO, J.E.; ARROIO, A. (Orgs.). *Conhecimento, sistemas de inovação e desenvolvimento*. Rio de Janeiro: UFRJ, Contraponto, 2005.

LASTRES, H.M.M.; FERRAZ, J. Economia da informação, do conhecimento e do aprendizado. In: LASTRES, H.M.M.; ALBAGLI, S. (Eds.). *Informação e globalização na era do conhecimento*. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

LASTRES, H.M.M.; LEGEY, L.I.; ALBAGLI, S. Indicadores da sociedade e economia da informação, do conhecimento e do aprendizado. In: VIOTTI, E.; MACEDO, M. *Indicadores de ciência, tecnologia e inovação*. Campinas: Unicamp, 2003.

LUNDEVALL, B.-Å. *Product innovation and user producer interaction*. Aalborg: Aalborg University Press, 1985.

LUNDEVALL, B.-Å. Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national innovation systems. In: DOSI, G. et al. (Eds.). *Technical change and economic theory*. Londres: Pinter Publishers, 1988.

LUNDEVALL, B.-Å. Introduction. In: Lundvall, B.-Å. (Ed.). *National systems of innovation: towards a theory of innovation and interactive learning*. Londres: Pinter, 1992.

LUNDEVALL, B.-Å. The social dimension of the learning economy. DRUID, Working Paper 96-1, Aalborg University, Aalborg, 1995.

LUNDEVALL, B.-Å. National innovation system: analytical policy device and policy learning tool. Mimeo. Department of Business Studies, Aalborg University, Aalborg, Denmark, 2006.

MALERBA, F.; ORSENIGO, L. The dynamics and evolution of industries. *Industrial Corporate Change*, v.5, n.1, p.51-87, 1996.

MARQUES, I. Desmaterialização e trabalho. In: LASTRES, H.M.M; ALBAGLI, S. (Eds.). *Informação e globalização na era do conhecimento*. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

METCALFE, J. Technological innovation and the competitive process. In: HALL, P. (Ed.). *Technology, innovation and economic growth*. Southampton: Camelot Press, 1986.

MOWERY, D.; OXLEY, J. Inward technology transfer and competitiveness: the role of national systems of innovation. *Cambridge Journal of Economics*, v.19, n.1, p.67-93, 1995.

NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING; National Research Council (U.S.); ZHONGGUO, K.X.Y.; ZHONGGUO, G.C.Y. *The power of renewables opportunities and challenges for China and the United States*. Disponível em: <http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12987>. Acesso em: 10 dez. 2012.

NELSON, R. (Ed.). *National innovation systems: a comparative analysis*. Oxford: Oxford University Press, 1993.

NEWELL, R.G. The Energy innovation system a historical perspective. In: HENDERSON, R.; NEWELL, R.G. (Eds.). *Accelerating energy innovation: insights from multiple sectors*. National Bureau of Economic Research conference report. Chicago; London: University of Chicago Press, 2011.

OLIVEIRA, A.; CASSIOLATO, J. E.; MARTINS, L. F., “Indicadores e Usos de energia elétrica nos setores energo-intensivos”, *Documentos IEI/UFRJ*, N° 8, fevereiro de 1995.

OLIVEIRA, A.; LINHARES PIRES, J.C., “Setor Elétrico Brasileiro: Diagnóstico e Perspectivas”, Rio de Janeiro, IEI/UFRJ, Relatório de Pesquisa, 1994. (Mimeo).

PEREZ, C. New technologies and development. In: FREEMAN, C.; LUNDEVALL, B.-Å. (Eds.). *Small countries facing the technological revolution*. Londres: Pinter Publishers, 1988.

PEREZ, C. Structural change and the assimilation of new technologies in the economic and social systems. *Futures*, v.15, n.5, 1983.

PREBISCH, R. O desenvolvimento econômico da América Latina e alguns de seus problemas principais. In: BIELSCHOWSKY, R. (Org.). *Cinquenta anos de pensamento na CEPAL*. Record: Rio de Janeiro [2000] 1949.

PODCAMENI, M. G. VON B. *Sistemas de inovação e energia eólica: a experiência brasileira*. 2014. Tese (Doutorado em Economia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://goo.gl/jmel4y>.

- POLITO, R. "Inovações na estante". Revista Brasil Energia. Novembro 2006.
- REINERT, E; REINERT, S. GLOBELICS CONFERENCE, 1, 2003, Rio de Janeiro.
- ROSENBERG, N. Perspectives on technology. Cambridge: Cambridge University Press, 1976.
- SCHMITZ, H.; CASSIOLATO, J.E. Hi-tech for industrial development lessons from the Brazilian experience in electronics and automation. Londres: Routledge, 1992.
- SCHUMPETER, J.A. The theory of economic development. Cambridge: Harvard University Press, 1912.
- SCHUMPETER, J.A. Business cycles: a theoretical, historical and statistical analysis of the capitalist process, 2v. New York: McGraw-Hill, 1939.
- SCHUMPETER, J.A. Capitalism, socialism and democracy. New York: Harper, 1942.
- VIEIRA, J. P.; Castro, N. J.; Rech. H.; Burani, G.F. Antimercancia y mercantilización de la energía eléctrica en Brasil. Artigo publicado no Observatorio de la Economía y la Sociedad Latinoamericana, no 81. Universidade de Málaga, Espanha, Junho de 2007.

3

Transição do Setor Energético para uma Economia de Baixo Carbono

António Gomes Martins, Patrícia Pereira da Silva

Resumo

Este capítulo tem como objetivo identificar as particularidades básicas de uma evolução para uma economia de baixo carbono num contexto de necessidade de melhoria do nível de sustentabilidade dos recursos naturais e das consequências que as orientações regulatórias atuais trazem à organização econômica do setor energético, em particular das “*utilities*”. Explicita-se a existência de um abrangente agregado de mecanismos de orientação e coordenação, a nível europeu, o qual pode servir de paradigma para outras economias, aquando do seu desenvolvimento e inerente reforço de quadros, em vista do conseguimento de uma energia de baixo carbono. A nível tecnológico, constata-se uma progressiva tendência global, se bem que com diferentes ritmos de evolução nas diversas economias. A transição em causa depende do grau de articulação entre política pública de energia e inovação e desenvolvimento tecnológico. Acredita-se que este binómio política/tecnologia potenciará a consecução de importantes objetivos ancorados em adequadas inovações técnicas, sem deixar, porém, de trazer problemas novos à organização e à regulação do setor energético.

Introdução

A premente necessidade de incrementar o grau de sustentabilidade da utilização de recursos naturais tem suscitado um conjunto de esforços que possibilita diversas mudanças no modelo de crescimento econômico. Este cenário vem-se manifestando a uma escala global, desde o Tratado de Quioto (NAÇÕES UNIDAS, 1998) até às recentes negociações em torno dos compromissos para a redução das alterações climáticas por ocasião, da conferência das Nações Unidas (NAÇÕES UNIDAS, 2015) em Paris, em dezembro de 2015.

Um exemplo claro e abrangente destes esforços reside na estratégia dinamizada pela União Europeia (UE), em vista de tal plano de transição, a qual

assenta num corpo de iniciativas envolvendo diferentes setores econômicos. Este plano envolve metas, compromissos e programas específicos para a redução da emissão de gases de efeito de estufa e tem servido como exemplo internacional de coordenação de recursos e motivações para a mitigação do impacto das alterações climáticas.

Em suma, o objetivo deste capítulo é apresentar características básicas de um processo de transição para uma economia hipocarbônica, tendo como modelo de referência o caso da UE. A percepção das políticas públicas em curso é complementada com uma análise da evolução das tendências tecnológicas associadas a tal processo transitório.

3.1 - Contextualização das políticas polarizadas na eu

Considerando o objetivo de promover um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo, a transição para economia de baixo carbono é parte central da estratégia da UE a implementar até 2020, (COMISSÃO EUROPEIA, 2010b). Este programa, com o horizonte temporal de 2020, define um quadro de objetivos em áreas prioritárias que passam pela criação de emprego, investimento contínuo em pesquisa e desenvolvimento, aumento do nível de educação, redução do abandono escolar, redução da pobreza e cumprimento das metas de energia e clima.

3.1.1 - Os pilares do Processo de Transição

Neste contexto, abrangida pela ênfase nas áreas de energia e clima, emerge a ambição de conseguir uma UE de baixo carbono até 2050 (COMISSÃO EUROPEIA, 2011b). A urgência de um esforço transnacional no combate às alterações climáticas e o plano de longo-prazo prescrito estão associados a eventuais impactos negativos que, à falta de uma ação coordenada nestas áreas por parte dos estados-membros da UE, poderão advir para a sociedade, ambiente e economia.

Este programa de transição encontra-se enquadrado no âmbito da iniciativa para uma utilização eficiente de recursos (COMISSÃO EUROPEIA, 2011a) que promove, entre outros, o aumento da eficiência energética como elemento determinante do sucesso na redução das emissões de gases de efeito de estufa. Os principais objetivos de tal programa são apresentados na tabela seguinte (Tabela 1).

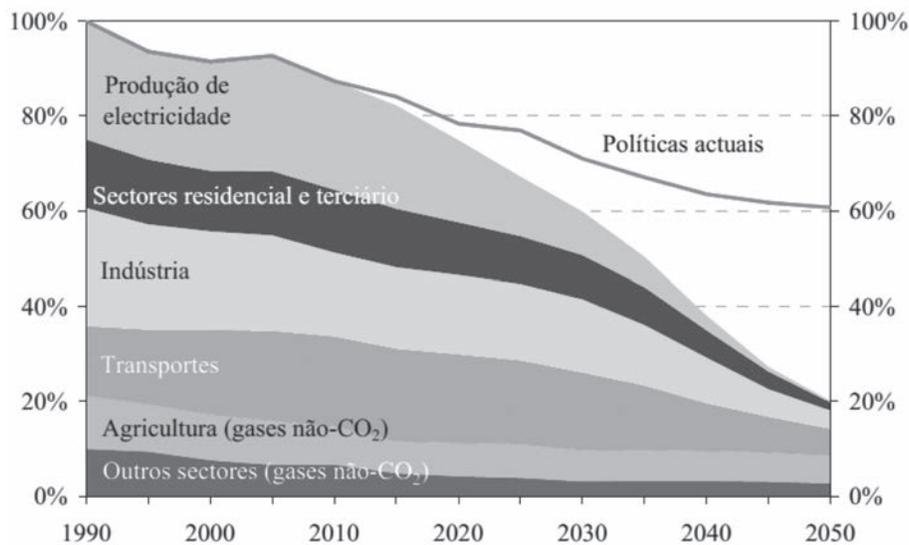
Tabela 1 - Transição para uma Economia de Baixo Carbono na UE.

| Metas e ambições para uma economia de baixo carbono em 2050 |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Redução das emissões de gases de efeito de estufa em 80%, comparado com os níveis de 1990.• Redução das emissões de gases de efeito de estufa, em relação a níveis de 1990, em 40% até 2030 e em 60% até 2040, sendo estas metas custo-efetivas necessárias para assegurar o alvo a atingir em 2050.• Conseguir implementar e coordenar, de forma viável, ações em setores com maior potencial de redução de emissões. |

Fonte: elaboração própria, 2016.

Complementando as metas apresentadas na Tabela 1, a Figura 1 ilustra a evolução das emissões de gases de efeito de estufa, permitindo uma análise setorial e o esboço do cenário base em que apenas as políticas atuais continuam em curso, sem que nenhum esforço adicional seja implementado a fim de conseguir uma redução dessas emissões. No panorama considerado é de salientar, até 2050, a ambição da total descarbonização do setor elétrico.

Figura 1 - Cenário para uma Economia de Baixo Carbono até 2050, Ano Base 1990 (100%).



Fonte: Comissão Europeia (2011b).

A evolução de uma agenda de políticas públicas, orientadas para a dinamização de uma economia de baixo carbono, pode ser encarada como uma ação gradual de implementação de programas que permitam desenvolver o enquadramento estratégico resultante da criação de diversos instrumentos legais que assegurem avanços *toward* os compromissos definidos.

A Tabela 2 elenca diversas iniciativas a empreender sob os auspícios da UE, indicando o respectivo período de implementação, e dá notícia dos correspondentes documentos legais. Deste modo, pode conseguir-se uma melhor compreensão dos passos a seguir na UE, tendo em vista a concretização de uma futura estratégia de baixo carbono.

Tabela 2 - Quadro Resumo das Iniciativas em Curso.

| Iniciativa | Ano | Descrição | Referência |
|---|------|--|----------------------------|
| Estratégia Europa 2020 | 2010 | Iniciativa transversal para a promoção de crescimento inteligente, sustentável e inclusivo. | (COMISSÃO EUROPEIA, 2010b) |
| Uma Europa eficiente em termos de recursos | 2011 | Iniciativa emblemática da Estratégia 2020 para a promoção de uma economia eficiente, criando uma ponte para uma economia de baixo carbono. | (COMISSÃO EUROPEIA, 2011a) |
| Roteiro de transição para uma economia de baixo carbono em 2050 | 2011 | Iniciativa que, com base nos objetivos estabelecidos para 2020, cria um quadro de ação com horizonte 2050. | (COMISSÃO EUROPEIA, 2011b) |

Fonte: elaboração própria (2016)

Face ao planeamento projetado sobre as metas a atingir no procedimento de transição para uma economia de baixo carbono e ao enquadramento das iniciativas da UE para a sua dinamização, é pertinente abordar com algum pormenor os diversos programas em curso. De modo geral, tais programas almejam providenciar diligências relativas à consecução da descarbonização da economia, com inerente destaque para o contributo do setor energético.

3.1.2 - Enfoque em Iniciativas e Políticas Intermediárias

O processo de transição para uma economia de baixo carbono, no contexto da UE, tem suporte em um conjunto de iniciativas de médio prazo. Referimo-nos, neste caso, aos programas de ação delineados em torno do horizonte temporal até 2020, com o fim de assegurar energia segura, sustentável e competitiva aos cidadãos europeus (COMISSÃO EUROPEIA, 2010a), bem como atingir os

objetivos recentemente definidos para o horizonte temporal até 2030 (COMISSÃO EUROPEIA, 2014b). Apresentamos de seguida alguns detalhes referentes a tais iniciativas, que denominamos de intermédias.

3.1.2.1 - Energia Segura, Sustentável e Competitiva – UE em 2020

Os desafios em curso – manutenção de um setor energético competitivo na Europa e identificação do potencial completo de alguns dos sucessos já conseguidos, bem como a urgência da coordenação de esforços a nível comunitário –, estiveram entre os principais eixos motivadores da estratégia para a Energia 2020. Esta iniciativa de médio prazo, concebida em 2010, assenta nos seguintes pressupostos estratégicos (COMISSÃO EUROPEIA, 2010b): (i) conseguir uma Europa energeticamente eficiente; (ii) desenvolver um mercado integrado de energia na Europa; (iii) dar mais ênfase aos consumidores e aumentar os seus níveis de segurança; (iv) assegurar a liderança da Europa na área das inovações tecnológicas para o setor energético; (v) reforçar a dimensão externa do mercado energético da UE.

São ainda relevadas, dentro desta iniciativa, as metas a atingir, que ficaram conhecidas como ‘metas 20-20-20’ até 2020, por compreenderem: (1) 20% de redução nas emissões de gases de efeito de estufa; (2) 20% de redução no consumo de energia resultante de um aumento da eficiência energética; (3) aumento de 20% do contributo de fontes de energia renovável para a matriz energética Europeia (COMISSÃO EUROPEIA, 2010b).

- De modo a obter uma panorâmica da evolução *vis-à-vis* das metas apresentadas, é importante salientar o progresso já conseguido, do qual se destacam as seguintes componentes (COMISSÃO EUROPEIA, 2014b): Emissão de gases de efeito de estufa inferior em 18% face aos níveis de 1990, com o objetivo de atingir uma redução de 24% em 2020; Participação de energias renováveis no cabaz energético, que atingiu 13% em 2012, com a esperança de atingir 21% em 2020; Expectativa da UE em conseguir-se 44% da capacidade instalada em energias renováveis a nível mundial, *exclusive* usinas hidroelétricas, evidenciando o compromisso na promoção de fontes de energia limpa; Diminuição da intensidade energética na UE em 2011 de 24% face a 1995, com forte contributo do setor industrial (30%), revelando um aumento da eficiência energética.

Na análise levada a cabo sobre o caso europeu é oportuno salientar que o desenvolvimento verificado compreende, para lá do quadro estratégico, um quadro legislativo que engloba as numerosas diretivas europeias que vinculam

o concerto dos estados-membros. Neste contexto da diversidade de diplomas legislativos existentes, como mais pertinentes, dada sua relevância no percurso da transição para uma economia de baixo carbono, realçam-se os constantes da Tabela 3.

Tabela 3 - Quadro Resumo de Instrumentos Legislativos na UE.

| Área de foco | Instrumento | Descrição | Referência |
|---------------------------------------|--|---|-------------------------|
| Eficiência energética | Diretiva de Eficiência Energética (2013/12/UE) | Instrumento legal que estabelece as ações a desenvolver no campo da eficiência energética com abrangência total da cadeia de valor, desde a geração até ao consumo final. | (UNIÃO EUROPEIA, 2013) |
| Energias renováveis | Diretiva de Energias Renováveis (2009/28/EC) | Instrumento legal que estabelece os contributos necessários dos estados-membros da UE na promoção de energia de fontes renováveis, incluindo o setor dos transportes. | (UNIÃO EUROPEIA, 2009a) |
| Emissões de gases de efeito de estufa | Diretiva sobre o mercado de créditos de carbono (2009/29/EC) | Instrumento legal que reforça o funcionamento do mercado de créditos de carbono, desenhado para reduzir as emissões dos setores mais energeticamente intensos na Europa. | (UNIÃO EUROPEIA, 2009b) |

Fonte: elaboração própria (2016).

Os instrumentos legislativos inscritos na Tabela 3 traduzem a presença de leis dedicadas a cada uma das áreas em foco na estratégia energética europeia, em que se incluem a redução da emissão de gases de efeito de estufa, o incremento da participação de energia de fonte renovável e a redução do consumo de energia, fruto de um aumento dos níveis de eficiência energética.

Estes instrumentos genéricos são complementados por leis específicas que carregam maior detalhe sobre a forma como os objetivos de natureza mais abrangente devem ser alcançados. Por exemplo, no caso da promoção de eficiência energética, à Diretiva 2013/12/UE, que estabelece o quadro legal geral para a promoção de reduções no consumo de energia elétrica nos 28 estados-membros, vem associado com um leque de legislação complementar, a qual inclui:

- A diretiva sobre *performance* energética de edifícios (2010/31/UE), que fixa o quadro legal concernente ao nível de eficiência energética do edificado (UNIÃO EUROPEIA, 2010b);

- A diretiva sobre etiquetagem e informação de utilização de recursos por produtos que utilizem energia (2010/30/UE), que estabelece a informação a ser incluída nos rótulos de produtos, como meio de promover a adoção daqueles com maior grau de eficiência energética (UNIÃO EUROPEIA, 2010a).

Por sua vez, estas diretivas são ainda complementadas por regulamentações peculiares que podem ser encontradas no portal sobre legislação da União Europeia (UNIÃO EUROPEIA, 2015). Subsequentemente, cabe a cada Estado-Membro fazer a respetiva transposição para os normativos nacionais. Nesta subseção, sobre iniciativas intermédias da UE com limite temporal para o ano de 2020, expomos as principais linhas enformadoras do quadro de políticas públicas. Um maior nível de profundidade e análise do desenvolvimento destas linhas pode ver-se em Pereira (2014), Pereira e Silva (2015) e Tosun *et al.* (2015).

No decurso das diligências efetuadas, em vista da transição para uma economia hipocarbônica, a UE já predeterminou um quadro de metas para o período pós-2020, em que é assumida a urgência numa maior ambição e melhor planificação, bem como o aperfeiçoamento do desempenho das estruturas de governação relativas à agenda energia/clima. Na seção seguinte damos notícia sobre as principais características deste novo quadro, que tem como limite temporal o ano de 2030.

3.1.2.2 – Novo Quadro de Políticas de Energia e Clima pós-2020 – UE em 2030

- Com o intuito de assegurar a evolução em direção a uma economia de baixo carbono, a UE desenhou um novo quadro estratégico que visa impulsionar a agenda energia/clima no período 2020-2030. Este novo quadro, apresentado em 2014 (COMISSÃO EUROPEIA, 2014a), tem como propósito transmitir maior certeza regulatória para os investidores e melhor e mais eficaz coordenação entre os estados-membros no desenvolvimento de tecnologias inovadoras. Ele contém um conjunto de pontos-chaves, quais sejam: Redução vinculativa nas emissões de gases de efeito de estufa, com o objetivo de 40% face aos níveis de 1990; Aumento do contributo das energias de fonte renovável em 27% do cabaz energético europeu; Redução do consumo de energia primária em 30% face aos níveis de 1990, a fim de contribuir transversalmente para a agenda de energia/clima (COMISSÃO EUROPEIA, 2014e).
- Os novos objetivos, se cotejados com os definidos para o ano de 2020, afiguram-se mais ambiciosos, demonstrando o comprometimento e o

elevado nível dos esforços planeados para o período 2020-2030. Além da atualização das metas nas três principais áreas acima elencadas, o quadro de políticas no pós-2020 contempla ainda: A reforma do mercado de créditos de carbono com início da próxima etapa em 2021; A definição de um conjunto de indicadores de progresso que permita avaliar de forma precisa a evolução face ao objetivo de assegurar energia competitiva, custo-efetiva e segura para os cidadãos europeus; A criação de um novo sistema de governança para a agenda energia/clima baseado no desenvolvimento de projetos ao nível de cada estado-membro, que contará com o apoio contínuo da Comissão Europeia.

Para além das metas gerais já apresentadas, a Comissão Europeia iniciou o processo de revisão das áreas de ação incluídas no novo quadro de energia e clima. O novo desígnio de eficiência energética será complementado por uma avaliação de impacto futuro (COMISSÃO EUROPEIA, 2014d), onde se apontam potenciais benefícios, a saber: (1) redução das importações de gás natural em 2,6% por cada 1% de aumento de nível de eficiência energética; (2) edifícios mais eficientes e mais confortáveis com melhoramentos indiretos para o bem-estar e saúde dos utilizadores; (3) criação de oportunidades para a economia europeia, desde o setor da construção ao setor do desenvolvimento de novas tecnologias e eletrodomésticos, contribuindo deste modo para a criação de emprego qualificado (COMISSÃO EUROPEIA, 2014e).

A implementação deste novo quadro deverá no futuro levar em linha de conta a revisão dos vários instrumentos legais em curso, como é o caso dos apresentados na Tabela 3, e possivelmente a adoção de novos meios que se revelem úteis face aos objetivos propostos. Nesta fase, de formulação e execução, deve persistir uma preocupação central com a urgência em incrementar o nível de investimentos conducentes a uma economia de baixo carbono.

Do modo a atrair tais investimentos, a Europa deverá focar-se na concepção de um ambiente regulatório estável que difunda a segurança requerida por investidores do setor privado, bem como alocar recursos financeiros públicos de modo a fomentar também o estímulo de investimento privado (COMISSÃO EUROPEIA, 2014f).

3.1.3 – Síntese

Da observação do quadro de políticas públicas prescritas para o alcançar de uma economia de baixo carbono no ano de 2050, apoiadas por iniciativas intermedirias durante o período 2020-2030, é possível apreender, de modo genérico, a estratégia de desenvolvimento no caso europeu. O alcance das agendas em jogo encontra-se dependente do comprometimento dos estados-membros,

da implementação e reforço de instrumentos legislativos e dos investimentos adequados, entre outros fatores. Paralelamente ao planejamento governamental, orientado para a persecução de uma estratégia de baixo carbono, será ainda possível identificar o papel crucial que o desenvolvimento de tecnologias inovadoras vai desempenhar neste cenário.

Dado o natural desejo de melhor elucidar a evolução tecnológica associada ao pacote energético-climático, na próxima seção apresenta-se sua perspectiva.

3.2 - Perspectivas da Evolução Tecnológica

Na Europa, o desenvolvimento de tecnologias proporcionando e suportando o avanço para uma economia de baixo carbono tem sido estimulado pelo Plano Estratégico Europeu para as Tecnologias Energéticas, conhecido como *SET Plan* (COMISSÃO EUROPEIA, 2007a, 2007b, 2009).

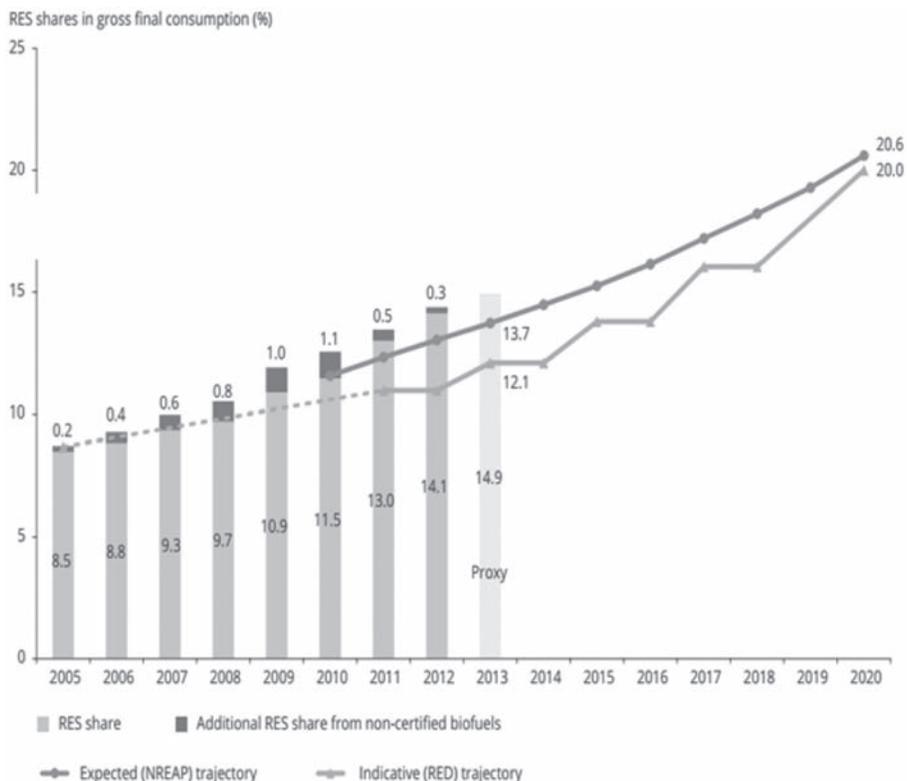
- Entre os objetivos estratégicos deste plano de desenvolvimento tecnológico, concebido em 2008 e reconfigurado aquando do processo de criação da União Energética (COMISSÃO EUROPEIA, 2015a, 2015c), incluem-se: Assegurar a liderança global no desenvolvimento de tecnologias inovadoras de energias renováveis que incluam a produção e uso de biomassa e biocombustíveis, em paralelo com soluções de armazenamento; Assegurar a participação dos consumidores no processo de transição do setor elétrico, através de tecnologias de redes inteligentes – *smart grids* –, tecnologias para casas inteligentes – *smart homes* – e, ainda, sistemas de automação para o setor residencial; Promover o desenvolvimento de tecnologias com elevado grau de eficiência e tecnologias de recuperação, a fim de tornar o parque edificado neutro a consumos energéticos; Desenvolver sistemas de transporte sustentáveis e escaláveis que permitam o aumento da eficiência e a redução das emissões de gases de efeito de estufa.

Em seguida, expõe-se uma súmula de objetivos estratégicos futuros, via o esclarecimento do avanço verificado nos últimos anos em vários segmentos tecnológicos.

3.2.1 - Evolução das Tecnologias de Energias Renováveis

As energias renováveis, um dos pilares em que assenta a estratégia de uma economia de baixo carbono, têm contado com um crescimento sustentado na UE, prevendo-se que em 2020 possam alcançar a meta dos 20% no cabaz energético, com um progresso que se ilustra na Figura 2.

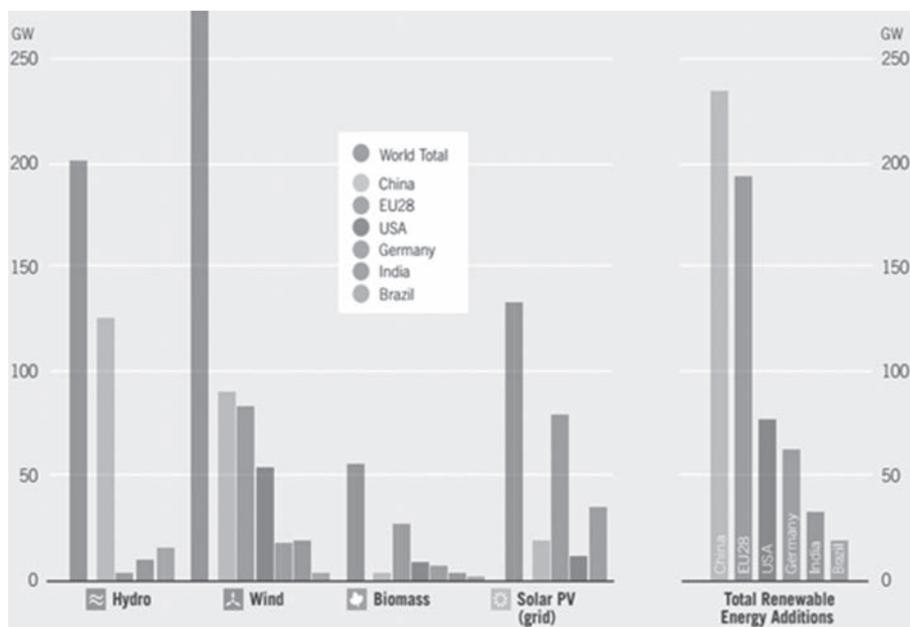
Figura 2 – Participação das Renováveis no Consumo Final de Eletricidade (%).



Fonte: European Environment Agency (2013).

A situação retratada na Figura 2 pode ser complementada com uma perspectiva mais vasta, recorrendo à análise da evolução do contributo de energias renováveis nas principais economias mundiais, ilustrada no gráfico da Figura 3.

Figura 3 – Adição de Capacidade de Renováveis por Região e por Fonte: 2004-2013 (GW)



Fonte: REN21 (2014).

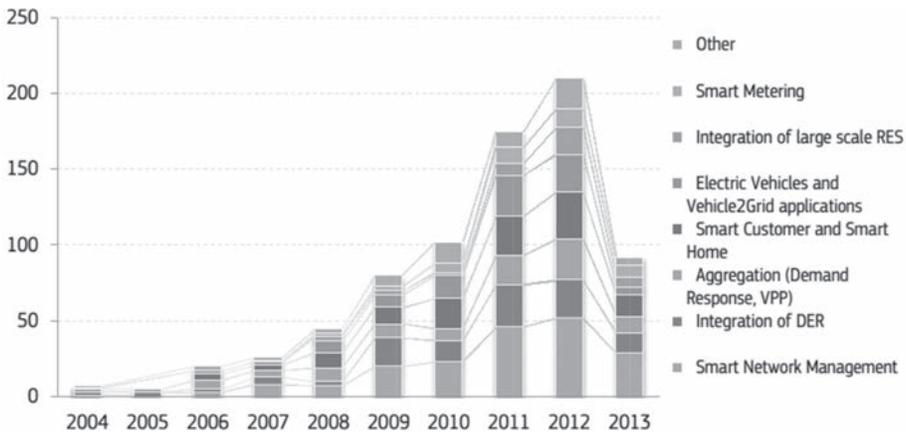
Para o progresso observável na Figura 3 pode inferir-se a evolução e o contributo do Brasil em tecnologias de fonte hídrica, eólica e de biomassa.

3.2.2 - Evolução das Tecnologias de Infraestruturas de Rede

O papel das redes de energia elétrica no atual panorama de transição energética vem sendo objeto de ampla discussão. Aqui, exemplificamos a evolução nas tecnologias de infraestruturas de rede com um enfoque nas ações de pesquisa e desenvolvimento em redes inteligentes – *smart grids*, na Europa – cujo progresso tem sido acompanhado de perto pela Comissão Europeia e pelo Instituto de Energia e Transportes (COMISSÃO EUROPEIA, 2015b).

Assim, ilustramos a evolução das infraestruturas de rede na Figura 4, onde se pode reconhecer, no intervalo temporal 2004-2013, o crescimento do número de projetos atinentes aos diferentes segmentos que compõem as redes inteligentes. Estes dados resultam do programa Observatório de Projetos Redes Inteligentes, publicado em 2014 pelo Instituto de Energia e Transportes (CATALIN *et al.*, 2014).

Figura 4 - Evolução de Projetos de Redes Inteligentes por Ano, por Aplicação.



Fonte: adaptado de Catalin *et al.* (2014).

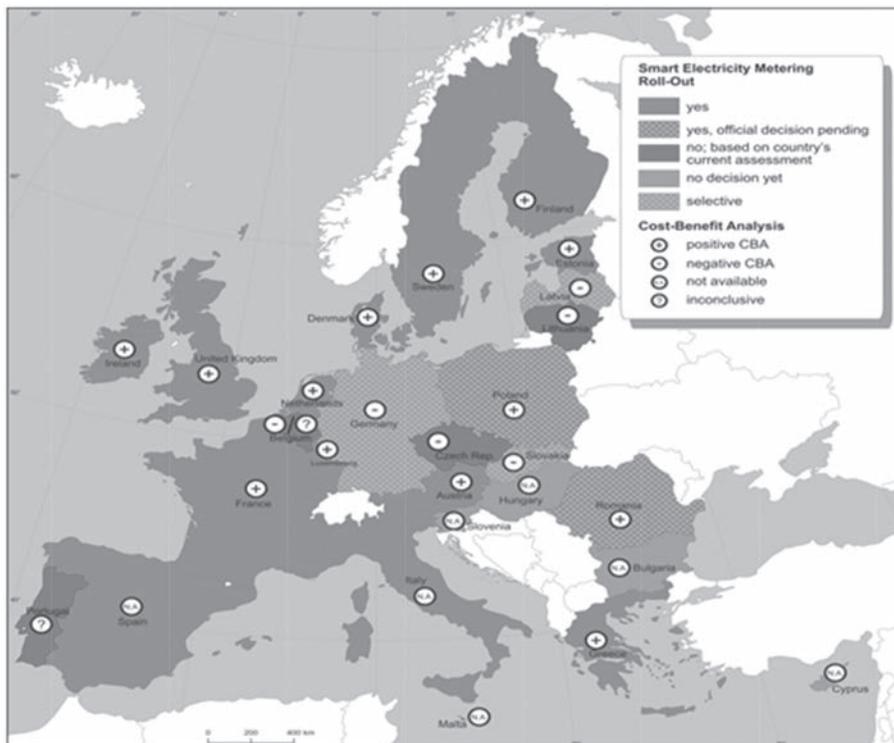
Na evolução das diferentes aplicações de projetos conexos com o desenvolvimento de redes inteligentes (*vide* Figura 4) é de salientar o significativo incremento do número de projetos dedicados a inovações no ramo da gestão de redes, fruto inevitável da complexidade crescente resultante da integração de contadores inteligentes, veículos elétricos e tecnologias de energias renováveis, entre outros. A destacar, o declínio de projetos ocorrido em 2013, estimando-se que tal fato tenha sido originado por falta da apresentação de dados por parte das entidades participantes no estudo, visto o levantamento ter ocorrido em 2014 (CATALIN *et al.*, 2014). O incremento, acima referido, do número de projetos de pesquisa e desenvolvimento está também associado a um aumento contínuo do investimento nesta área.

3.2.3 - Evolução das Tecnologias de Gestão da Demanda

Também a evolução das tecnologias de gestão da demanda tem revelado expressivo crescimento no caso europeu. Ilustra-se este progresso de duas formas: primeiro, exibindo uma representação geográfica (Figura 5) dos estados-membros da UE, onde se expõe a situação atual relativa à instalação de medidores inteligentes, elemento base para o desenvolvimento de ações de gestão da demanda que permitam uma melhoria da eficiência da utilização dos recursos energéticos (COMISSÃO EUROPEIA, 2014c); segundo, na figura 6, apresentando a evolução do nível de eficiência energética para vários setores da economia desde 1990 (AGÊNCIA AMBIENTAL EUROPEIA, 2015a), onde nos deparamos com uma evolução expressiva do grau de eficiência suportado no aperfeiçoamento e

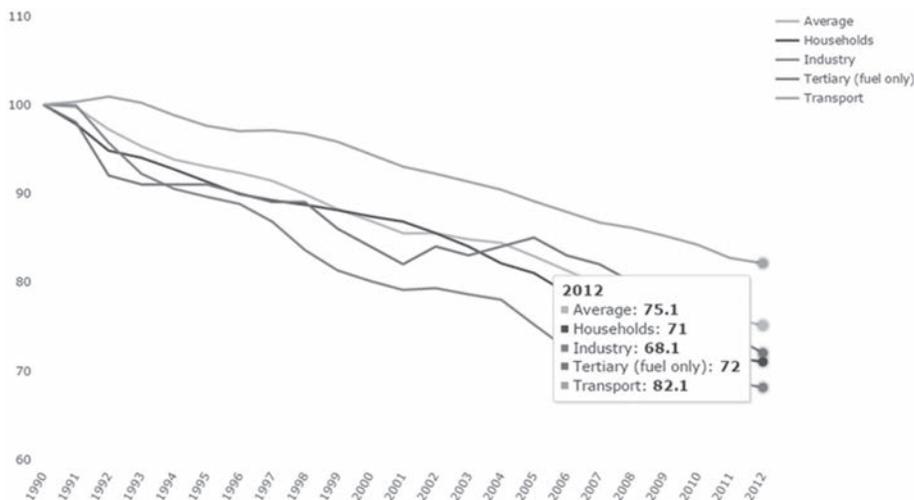
na disseminação de tecnologias mais eficientes (por exemplo, em eletrodomésticos e outros equipamentos).

Figura 5 – Estado Atual da Instalação de Contadores Inteligentes na UE.



Fonte: Comissão Europeia (2014c).

Figura 6 - Evolução do nível do índice energia eficiência energética por setor.



Fonte: adaptado de Agência Ambiental Europeia (2015a)⁴

Analisando setorialmente a evolução dos níveis de eficiência energética apresentados na Figura 6 verifica-se considerável avanço do setor industrial e residencial, com reduções de 31,9% e 29% do consumo, respetivamente¹.

- O progressivo desenvolvimento da eficiência energética, apoiado em tecnologias de gestão da demanda, revela os benefícios de um alinhamento entre as agendas de políticas públicas e de desenvolvimento tecnológico. O cenário futuro, assumindo os entendimentos atuais e os previstos, apresenta-se claramente positivo. Como ilustração desta tendência, destaca-se o compromisso para a instalação de medidores inteligentes nas principais economias mundiais. Segundo avaliação da empresa de consultoria Ey (2014): A América do Norte planeja atingir o grau de penetração de medidores inteligentes de 91% em 2022; A Europa tem em vista a meta de 195 milhões de medidores inteligentes instalados até 2020; O Brasil será líder na América Latina, planejando instalar 38 milhões de medidores inteligentes até 2020; Na Ásia e na região do Pacífico, a China destacar-se-á com uma ambiciosa estratégia para os próximos 10 anos, antecipando a instalação de 435 milhões de medidores inteligentes até 2020.

¹ Na literatura científica, bem como nos dados divulgados por diversas entidades do setor, nomeadamente, pela Agência Ambiental Europeia, o nível de eficiência energética é avaliado por uma *proxy*, i.e., pelo nível de intensidade energética.

3.2.4 – Síntese

Com base na perspectiva exposta nesta seção quanto às tendências da evolução tecnológica, centrada nas áreas das energias renováveis, nas infraestruturas de redes inteligentes e nas tecnologias de gestão da demanda, é possível reconhecer um crescimento indiscutível em todas elas. Adicionalmente, do paralelismo exibido entre a Europa e o resto do Mundo, representado neste caso por um conjunto de estados, o Brasil incluído, é exequível intuir que tendências de inegável progresso se têm registrado a âmbito internacional. Este cenário permite-nos asseverar a existência de uma forte e generalizada motivação para enveredar por uma economia de baixo carbono. No entanto, será necessário assegurar fontes de financiamento e permitir a remoção de barreiras de mercado, atitudes cruciais para a concretização dos objetivos perseguidos.

3.3 Novos Paradigmas, Novos Desafios, Novos Agentes

A evolução recente dos sistemas de energia elétrica tem-se caracterizado por várias tendências de transformação muito importantes, quizá disruptivas, já mencionadas anteriormente. Algumas mudanças regulatórias e legislativas importantes têm ocorrido na definição da estrutura do mercado da energia elétrica e na definição dos papéis dos agentes que se vão criando e transformando.

Por um lado, no suprimento, as tecnologias de produção baseadas em energias renováveis têm vindo a ganhar terreno, como consequência das políticas energéticas e ambientais globais, e das respetivas traduções regulatórias² tanto ao nível dos aproveitamentos de média ou grande escala, como ao nível das instalações de pequena e muito pequena potência.

O crescimento da potência instalada em aproveitamentos eólicos tem se beneficiado de um processo inovação permanente, quer ao nível da concepção das geradoras, com diâmetros de varrimento cada vez maiores, quer ao nível da implantação, agora decididamente também *offshore*, onde o regime de ventos é muito atrativo para garantir fatores de carga elevados e bom retorno de investimento.

Em paralelo, a progressiva redução dos custos de produção da tecnologia fotovoltaica tem causado em muitas partes do mundo uma penetração cada vez mais acentuada destes sistemas em aproveitamentos desde muito pequena até grande potência, em todos os setores: residencial, de serviços, industrial.

Além de colocar desafios técnicos importantes às infraestruturas de rede elétrica existentes, designadamente ao nível dos sistemas de proteção, esta proliferação de pontos de injeção em redes anteriormente projetadas e geridas em

² Como, por exemplo, a diretiva europeia 2009/28/EC.

modo de fluxo unidirecional de corrente também contribui para a concretização de duas orientações importantes das modernas políticas energéticas, já mencionadas no contexto da UE: o lançamento das redes inteligentes e a autossuficiência energética de edifícios e comunidades, traduzida na orientação para a concepção e construção de edifícios de balanço energético nulo – *net* (ou “near”) *zero energy buildings*, NZEB (2010/31/EU).

Por sua vez, a gestão das redes inteligentes incorpora a necessidade de resposta flexível do lado da demanda (a já referida *demand response*), segundo o novo paradigma de “a demanda seguir a oferta”, em aparente contradição com o paradigma dominante até há pouco tempo, e ainda prevaemente em muitos mercados, de a oferta ter que se adaptar à demanda (LOPES *et al.*, 2012). Esta alteração de paradigma justifica-se em função da necessária racionalidade da utilização dos recursos disponíveis, tanto do lado do suprimento de energia, como nas infraestruturas de rede, assumindo a demanda como um recurso adicional disponível para uma gestão equilibrada de todo o sistema elétrico (PEACOCK; OWENS, 2014).

Estes desenvolvimentos têm dado origem a uma alteração significativa do universo dos atores do mercado da energia elétrica. Para além dos produtores, dos distribuidores, anteriormente também responsáveis pela venda de energia, mas agora apenas gestores de redes, e dos consumidores, surgem os comercializadores, os produtores de pequena escala, anteriormente apenas consumidores (com uma designação proposta de “*prosumers*”, cuja tradução talvez pudesse ser “*prossumidores*”, uma síntese de “produtores” e “consumidores”), os agregadores, as empresas de serviços de energia – ESCO.

Finalmente, um fator crucial para o aumento da penetração de sistemas de suprimento de base renovável no mercado consiste em encontrar solução satisfatória para a variabilidade da produção de base renovável, com uma elevada probabilidade de não corresponder às variações da demanda. O fato de a potência disponível a partir das fontes renováveis não ser despachável tem levado a procurar garantir a segurança e continuidade de suprimento através de uma de duas formas: uma reserva de suprimento convencional, despachável, que é necessário manter sempre disponível para responder quando o suprimento renovável deixa de estar disponível em algum momento; transformação do suprimento renovável em (quase) despachável, através da introdução de armazenamento de energia (RUESTER *et al.*, 2012).

O tema do armazenamento é atualmente alvo de muita pesquisa de novos materiais e dispositivos, bem como de enquadramento regulatório adequado, tendo em vista armazenamento estacionário em escala que permita absorver o excesso temporário de produção renovável em alguns períodos para libertar a energia armazenada em períodos em que a demanda supera a capacidade de suprimento renovável.

Enquanto um modelo de negócio claro não surge, existem especulações sobre a possibilidade de a função de armazenamento poder ser assumida por um agente adicional aos já referidos. Deve acrescentar-se que, dependendo da tecnologia utilizada, é possível que o serviço prestado por uma infraestrutura de armazenamento não seja apenas de energia e potência, mas também de regulação de frequência ou de tensão nas redes, por exemplo, diversificando as vias de captação de receita do armazenamento.

Existe a possibilidade de acrescentar a função de armazenamento aos centros produtores de energia renovável ou aos sistemas de produção de pequena potência dos “prosumidores”, ou ainda, numa segunda modalidade, de instalar armazéns de forma distribuída nas redes. No primeiro caso, tal equivale a conferir despachabilidade aos centros produtores renováveis, eliminando ou mitigando a imprevisibilidade da respetiva resposta em tempo real. No segundo caso, garante-se a condição de equilíbrio de potências nos sistemas independentemente da existência de despachabilidade dos centros produtores. No primeiro caso apenas se melhora a natureza da disponibilidade de potência dos agentes produtores, enquanto no segundo caso se promove o surgimento de uma função adicional, que pode vir a ser assumida por um novo tipo de agente autônomo (BRONSKI *et al.*, 2014).

3.4 - A Alegada Espiral da Morte das Empresas do Setor Elétrico

A despachabilidade dos suprimentos de base renovável garantida através de armazenamento de energia tem um aparente atrativo muito interessante para a exploração dos sistemas de energia elétrica, reforçando a necessidade de aprofundar a pesquisa de novos modos de organizar a operação dos mercados. De fato, dado que os mercados de energia ainda hoje se baseiam em modelos marginalistas tradicionais, a constatação de que o suprimento renovável tem custo marginal de produção nulo cria necessidade de abordagens inovadoras que a adição da função de armazenamento vem acentuar.

Porém, a adição da função de armazenamento pelos “prosumidores” tem outra característica que se tem vindo a acentuar: a concretização da efetiva autonomia energética destes agentes que, assim, se desligam virtualmente da infraestrutura de distribuição por deixarem de registar fluxos de energia com ela. Caso extremo pode vir a ser o de lhes ser permitido por eventual esquema regulatório passarem a ser apenas produtores. A tecnologia existe e os exemplos de autonomia completa também. Esta evolução pode ser vista de vários pontos de vista.

Por um lado, há aparentemente uma evidente vantagem na crescente satisfação das necessidades energéticas com base em fontes renováveis, contribuindo para

uma efetiva descarbonização da economia, embora se possa sempre afirmar que esta apenas será completamente incontroversa após uma criteriosa análise de custo societal de ciclo de vida. Já no caso das regiões em vias de desenvolvimento, sem infraestruturas de rede de transmissão ou distribuição, ou com infraestruturas com cobertura insuficiente do território, a evolução parece ser inevitável: instalação de unidades de suprimento completas, com produção de base renovável acoplada a sistemas de armazenamento para servir centros de demanda sem infraestruturas de rede. Nestes casos, potencialmente muito abundantes no mundo, mesmo em países com um bom grau de desenvolvimento, mas com grandes vastidões de território sem infraestruturas, o investimento futuro em redes com cobertura completa do território parece completamente improvável por desnecessária – não é necessário encaminhar energia produzida centralizadamente quando esta é produzida localmente.

Por outro lado, já no imediato e seguramente no médio prazo, nas regiões com infraestruturas de rede estáveis e com qualidade de serviço, há a registar uma quebra de vendas de energia produzida centralizadamente, com reflexo tanto na atividade dos produtores, convencionais ou renováveis, como na atividade dos agentes gestores das redes. Em qualquer caso, trata-se de um problema da sociedade como um todo, já que existe um risco elevado de ociosidade de um investimento colossal, realizado ao longo de décadas, com uma mobilização enorme de recursos financeiros, principalmente em investimento, mas também em operação e manutenção (O&M). Os debates em torno deste problema têm sido centrados em tentar encontrar alternativas aos modelos regulatórios dominantes. É ou não legítimo pedir aos consumidores autossuficientes que participem nos custos de investimento e O&M da infraestrutura? E, se for, como se poderá concretizar essa participação numa base de equidade de assunção de custos por todos os agentes envolvidos? Como se coadunam os estímulos, por exemplo, da UE, no sentido da concretização do crescimento do número de NZEB, ou do aumento da produção renovável de micro e pequena escala, com as orientações no sentido da organização do mercado único da energia, tendo em atenção as consequências para os agentes económicos envolvidos?

Estas questões têm dado origem a um debate em torno do futuro das empresas do setor elétrico que têm visto as respectivas receitas diminuir nos últimos anos (NEWBURY, 2013). Constatando a evolução monótona desta variação, as empresas têm vindo a procurar encontrar soluções em duas escalas de tempo: por um lado, no curto prazo, através de propostas de alternativas regulatórias que levem os consumidores autossuficientes a participar nos custos; por outro lado, no médio prazo, através de alternativas de modelo de negócio que passem por diversificar as atividades potencialmente geradoras de

receita, levando à identificação de serviços de valor acrescentado que possam interessar aos consumidores em geral.

Neste particular, a frente da eficiência energética surge frequentemente como uma opção, levando a uma espécie de hibridação da natureza destas empresas que passam a assumir também o papel de ESCO. Outra possibilidade de diversificação de negócio pode passar pela gestão do abastecimento dos carregamentos (com base em produção renovável) dos veículos elétricos, cuja penetração no mercado se tem vindo a acentuar. Uma parte importante das opções que têm vindo a ser discutidas, além destes dois exemplos, tem a ver com atividades que contribuem, de uma forma ou de outra, para a descarbonização da economia. A motivação é predominantemente a da sobrevivência económica destes agentes, mas o efeito societal pode ser importante e positivo. A matéria é nova e complexa, por corresponder a uma viragem (disruptiva) de paradigmas, merecendo por isso uma atenção e contribuição de todos os agentes relevantes, incluindo da comunidade dos pesquisadores científicos (GRAFFY, 2014).

Conclusão

Neste capítulo, foram apresentadas alternativas da transição para uma economia de baixo carbono no escopo do setor energético, mais especificamente do setor elétrico. Ressalta-se que a análise contemplou as dimensões política e tecnológica vigentes. Neste contexto, especial atenção foi dada as políticas públicas que a nível europeu vêm sendo manifestadas, enquanto presumíveis fontes de referência internacional, no que à minoração das alterações climáticas concerne. Ao mesmo tempo, a análise considerou um conjunto de análises dos progressos técnicos em curso, associados a tal transição.

Além disso, o capítulo apresentou um conjunto de questões que marcam atualmente a dinâmica das alterações em curso no setor elétrico, identificando novos atores e novos problemas. Neste contexto, foram identificados potenciais positivos de algumas dessas dinâmicas para a descarbonização da economia, bem como riscos que alguns agentes enfrentam e, com eles, a economia e a sociedade em geral.

Ao longo da análise, ficou explícita a existência de um abrangente agregado de mecanismos de orientação e coordenação, a nível europeu, o qual pode servir de paradigma para outras economias, aquando do seu desenvolvimento e inerente reforço de quadros, em vista do conseguimento de uma energia de baixo carbono. A nível tecnológico ficou constatado uma progressiva tendência global, se bem que com diferentes ritmos de evolução nas diversas economias.

Em suma, a transição em causa depende da forte interconexão entre política pública de energia e inovação e desenvolvimento tecnológico. Este binómio

política/tecnologia possibilitará a consecução de importantes objetivos ancorados em adequadas inovações técnicas. Atingir o equilíbrio entre estas duas dimensões deverá constituir uma prioridade na elaboração de estratégias que visem estimular a referida transição *toward* uma economia de baixo carbono.

Agradecimentos

É devido um agradecimento a Guillermo Pereira que nos auxiliou nalguma compilação de informação que serve de base a este texto.

Referências Bibliográficas

Agência Ambiental Europeia. (2015a). Odyssee energy efficiency index (ODEX), EU28.

Agência Ambiental Europeia. (2015b). Renewable energy in Europe — approximated recent growth and knock-on effects.

Banco Mundial. (2015). Research and Development Expenditure % PIB. Acedido em <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=2&type=metadata&series=GB.XPD.RSDV.GD.ZS#>

Bronski, P. et al. (2014). The Economics of Grid Defection. Rocky Mountain Institute. Acedido em http://www.rmi.org/electricity_grid_defection#economics_of_grid_defection

Catalin, A., Covrig, F., Ardelean, M., Vasiljevska, J., Mengolini, A., Fulli, G., Filioiu, C. (2014). *Smart Grid Projects Outlook 2014. JRC Science and Policy Reports*. <http://doi.org/10.2790/22075>

Comissão Europeia. (2007a). A European Strategic Energy Technology Plan (SET Plan). Brussels.

Comissão Europeia. (2007b). Towards a European Strategic Energy Technology Plan. Brussels.

Comissão Europeia. (2009). *Investing in the development of low carbon technologies (SET-Plan)*. Brussels. Acedido em [http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Investing+in+the+Development+of+Low+Carbon+Technologies+\(SET-Plan\)#0\http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Investing+in+the+development+of+low+carbon+technologies+\(SET-](http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Investing+in+the+Development+of+Low+Carbon+Technologies+(SET-Plan)#0\http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Investing+in+the+development+of+low+carbon+technologies+(SET-)

Comissão Europeia. (2010a). Energy 2020. A strategy for competitive, sustainable and secure energy. Brussels.

Comissão Europeia. (2010b). Europe 2020 - A strategy for smart, sustainable and inclusive growth. Brussels.

Comissão Europeia. (2011a). A resource-efficient Europe - Flagship initiative under the Europe 2020 Strategy. Brussels.

Comissão Europeia. (2011b). *A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*. Brussels. Acedido de http://ec.europa.eu/clima/documentation/roadmap/docs/com_2011_112_en.pdf

Comissão Europeia. (2014a). *2030 climate and energy goals for a competitive, secure and low-carbon EU economy*. Brussels. Acedido em http://ec.europa.eu/clima/policies/2030/documentation_en.htm

Comissão Europeia. (2014b). A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030. Brussels.

Comissão Europeia. (2014c). *Benchmarking smart metering deployment in the EU-27 with a focus on electricity*. Acedido em <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1403084595595&uri=COM:2014:356:FIN>

Comissão Europeia. (2014d). Energy Efficiency and its contribution to energy security and the 2030 Framework for climate and energy policy. Brussels.

Comissão Europeia. (2014e). European Commission proposes a higher and achievable energy savings target for 2030 Long-term benefits. Brussels.

Comissão Europeia. (2014f). *Outcome of the October 2014 European Council on the 2030 framework for climate and energy*. Brussels. Acedido em http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030/docs/2030_euco_conclusions_en.pdf

Comissão Europeia. (2015a). A Framework Strategy for a Resilient Energy Union with a Forward-Looking Climate Change Policy. Brussels.

Comissão Europeia. (2015b). Joint Research Centre - Institute for Energy and Transport. Acedido em <http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/downloads>

Comissão Europeia. (2015c). Towards an Integrated Strategic Energy Technology (SET) Plan: Accelerating the European Energy System Transformation EN. Brussels.

Corsatea, T. D., Fiorini, A., Georgakaki, A., & Lepsa, B. N. (2015). *Capacity Mapping: R & D investment in SET-Plan technologies Reference year 2011*. <http://doi.org/10.2790/751673>

European Environment Agency (2013). Trends and Projections 2013. Copenhagen.

Ey. (2014). Smart Plug In 2014.

Graffy, E. and S. Kihm, (2014) Does Disruptive Competition Mean a Death Spiral for Electric Utilities, 35 Energy Law Journal 1.

Lopes, M., Antunes, C. H., Soares, A. R., Carreiro, A., Rodrigues, F., Livengood, D., Martins, A. G. (2012). An automated energy management system in a smart grid context. In Sustainable Systems and Technology (ISSST), 2012 IEEE International Symposium on (p. 1). IEEE.

Nações Unidas. (1998). Kyoto Protocol To the United Nations Framework Kyoto Protocol to the United Nations Framework. Acedido em <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>

Nações Unidas. (2015). 2015 United Nations Conference on Climare Change. Acedido em <http://www.cop21.gouv.fr/en/learn/what-is-cop21/>

Newbury, P. R. (2013). Creative Destruction and the Natural Monopoly “Death Spiral”: Can Electricity Distribution Utilities Survive the Incumbent’s Curse? In Proc. 35th DRUID Celebration Conference 2013, Barcelona, Spain, June 17-19.

Peacock, A. D., & Owens, E. H. (2014). Assessing the potential of residential demand response systems to assist in the integration of local renewable energy generation. *Energy Efficiency*, 7(3), 547–558.

Pereira, G. I. (2014). Connecting energy efficiency progress and job creation potential. Tese de Mestrado em Energy for Sustainability, Universidade de Coimbra.

Pereira, G., & Silva, P. P. (2015). Moving forward in European Union Climate and Energy Policies - Energy efficiency towards 2030. In *Energy for Sustainability 2015 Sustainable Cities: Designing for People and the Planet*. Coimbra.

Pica, C. Q., Vieira, D., & Dettogni, G. (2011). An Overview of Smart Grids in Brazil - Opportunities, Needs and Pilot Initiatives. *ENERGY 2011: The First International Conference on Smart Grids, Green Communications and IT Energy-Aware Technologies Communications and IT Energy-Aware Technologies*, (c), 93–97.

REN21. (2014). *The First Decade: 2004-2014*. Acedido em http://www.ren21.net/Portals/0/documents/activities/Topical Reports/REN21_10yr.pdf

Ruester, S. Vasconcelos, J., He, X., Chong, E., Glachant, JM, (2012). Electricity Storage: How to Facilitate its Deployment and Operation in the EU. Report 8, Think Project, European Univeristy Institute, doi:10.2870/41846

Tosun, J., Biesenbender, S., & Schulze, K. (2015). *Energy Policy Making in the EU - Building the agenda*. Heidelberg: Springer.

União Europeia. (2015). EUR-Lex - EU Legislation Portal. Acedido em http://eur-lex.europa.eu/summary/chapter/energy.html?root_default=SUM_1_CO-DED=18

União Europeia. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC (2009). http://doi.org/10.3000/17252555.L_2009.140.eng

União Europeia. Directive 2009/29/EC of the European Parliament and of the council of 23 april 2009 ammending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the greenhouse gas emission allowance trading scheme of the Community (2009).

União Europeia. Directive 2010/30/EU of the European Parliament and the Council of 19 May 2010 on the indication by labelling and standard product information of the consumption of energy and other resources by energy-related products, Pub. L. No. OJ L 153 (2010). European Union: Official Journal of the European Union.

União Europeia. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), Pub. L. No. OJ L 153 (2010). Official Journal of the European Union.

União Europeia. Directive 2013/12/EU of 13 May 2013 adapting Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council on energy efficiency, by reason of the accession of the Republic of Croatia (2013). Brussels: European Parliament.

4

Smart grid: Uma Visão da Regulação¹

Jorge Esteves, Hugo Pousinho, Paulo Oliveira, Pedro Roldão,
Sérgio Faias, Vítor Marques, Alexandre Santos, Vítor Santos

Resumo

O presente artigo busca analisar o conceito da rede elétrica para o século XXI e alguns dos inúmeros desafios que a evolução mais recente do setor elétrico antecipa, focando-nos na redução do custo de instalação de sistemas de produção de energia elétrica a partir da tecnologia solar fotovoltaica e nas perspectivas de que idêntica evolução poderá acontecer com o armazenamento de energia elétrica em baterias eletroquímicas. As consequências dessa evolução nos diferentes tipos de relacionamento dos clientes com a rede elétrica é analisada. Identifica-se a importância da participação dos clientes em todos os segmentos do mercado elétrico, permitindo uma valorização adequada da flexibilidade por eles disponibilizada. Apresenta-se também a visão dos reguladores europeus da energia sobre a evolução do setor elétrico nos próximos dez anos e algumas das alterações na regulação dos ativos de rede que se antecipam no quadro do novo paradigma de redes “mais inteligentes”, concluindo-se que a “inteligência” da rede elétrica do futuro ver-se-á, também, na sua capacidade em alinhar custos, benefícios e riscos.

Introdução

O setor da energia atravessa um período de mudanças estruturais que apontam para uma visão de futuro bastante diferente do cenário atual, quer para os operadores e agentes do setor, quer para os consumidores. Enquanto setor estratégico para a economia e para o desenvolvimento, a energia é objeto das políticas nacionais e da União Europeia. Além disso, observa-se que a política energética europeia tem como objetivos o combate às alterações climáticas, através da redução das emissões de CO₂, a promoção do aproveitamento dos

¹ O presente artigo retoma a apresentação intitulada “Os projetos europeus de *Smart Grid* e a visão da regulação europeia”, ocorrida em junho de 2015, no âmbito do Seminário Internacional “Análise das experiências europeias das políticas de incentivos às inovações tecnológicas de *Smart Grid*”.

recursos endógenos e renováveis e, finalmente, a promoção de medidas de eficiência energética. O desenvolvimento e a difusão de inovações tecnológicas será um elemento central nesta dinâmica.

No escopo do setor elétrico, ressalta-se que o desenvolvimento das redes elétricas foi vital na ligação entre os produtores e os consumidores de energia elétrica. A sua arquitetura foi sendo centrada de modo a satisfazer as necessidades de ligar, predominantemente, grandes centrais electroprodutoras com tecnologias de produção com base em combustíveis fósseis de alto teor de carbono², localizadas remotamente, longe dos centros da procura.

Em contrapartida, unidades de produção baseadas em tecnologias com baixo teor de carbono, muitas vezes propriedade dos consumidores ou localizadas na sua proximidade, combinadas com muito maior eficiência e maior participação do lado da procura, obrigam a uma evolução das redes elétricas, com especial relevância nas redes de distribuição. Contudo, a evolução das tecnologias de informação e comunicação facilita o desenvolvimento dessa evolução quando a questão passa por permitir que os milhões de consumidores ligados à baixa tensão tenham oportunidade para uma participação ativa no sistema elétrico.

De todo modo, para o sucesso de todo o processo é fundamental o papel dos operadores de redes, que se irão debater com desafios tecnológicos e económicos muito relevantes e se deverão assumir como principais facilitadores.

Sendo um tema muito vasto que pode ser abordado de muitos e variados pontos de vista, a reflexão que se segue centrou-se nas consequências que a evolução recente da tecnologia solar fotovoltaica e a eventual disseminação de sistemas de armazenamento distribuído de energia elétrica poderá ter no futuro do setor elétrico e da sua regulação. Algumas respostas que os reguladores europeus de energia anteciparam são também analisadas.

4.1 - Alguns Desafios do Setor Elétrico

4.1.2 - A Rede Elétrica do Futuro

Os desafios que estão na base da transição que se está a viver no setor elétrico foram identificados há já algum tempo e têm vindo a ser consolidados passo a passo desde então.

Estes desafios implicam um setor elétrico que terá de lidar com uma maior volatilidade, introduzida pela produção de energia elétrica a partir dos recursos eólico e solar e por uma participação ativa dos clientes/consumidores, o que obriga a que a rede elétrica tradicional do Século XX, em que predominou o paradigma clássico de que “a produção segue a procura”, evoluir para a rede

² Exceção da produção hidroelétrica ou à base de nuclear.

elétrica do futuro, em que passará a reinar o novo paradigma de que “a procura contribui com a produção para o equilíbrio do sistema”.

A rede elétrica tradicional do século XX caracteriza-se, no essencial, por apresentar:

- Fluxo de energia unidirecional da muito alta tensão para a baixa tensão;
- Produção remota e centralizada;
- Comunicações limitadas;
- Automação limitada da rede;
- Rede passiva na entrega de energia elétrica aos consumidores domésticos.

Por sua vez, para a rede elétrica do futuro, o sistema elétrico caracterizar-se-á por apresentar:

- “*Mix energético*” da produção de energia elétrica (repartição da produção de energia elétrica por tecnologia e fonte de energia) com grandes centrais electroprodutoras e com produção distribuída ligada em alta, média e baixa tensão, baseada em fontes renováveis não despacháveis e com elevada variabilidade;
- Rede elétrica constituída pela rede tradicional que coexiste com novas topologias e novas filosofias de controle e operação;
- Clientes finais que irão participar mais ativamente em novos serviços de energia (incluindo os clientes domésticos) e com a procura a contribuir de modo ativo para o equilíbrio do sistema (DSM);
- Comunicações bidirecionais disponíveis em todos os níveis de tensão e por um despacho centralizado a coexistir com filosofias e sistemas de controlo descentralizado;
- Soluções de armazenamento de energia elétrica distribuído e veículos rodoviários elétricos.

São estas as bases que foram identificadas como correspondendo ao conceito de *smart grid*, a rede elétrica do século XXI.

Neste enquadramento, o Conselho Europeu de Reguladores Europeus (CEER) definiu que a *smart grid* é uma rede elétrica que integra, de modo eficiente quanto ao custo, o comportamento e as ações de todos os utilizadores a ela ligados – produtores, consumidores e aqueles com ambas as funções – com o objetivo de assegurar um sistema energético economicamente eficiente e sustentável, com baixas perdas e elevados níveis de qualidade de serviço, segurança de abastecimento e proteção (ERGEG, 2009).

Este conceito de *smart grid* assumido pelos Reguladores Europeus da Energia foi adaptado da definição publicitada pela *Smart Grids European Technology Platform* (EUROPEAN TECHNOLOGY PLATFORM SMARTGRIDS, 2010), onde foi introduzida a importância em assegurar a eficiência no custo das soluções tecnológicas que vierem a ser implementadas na rede elétrica do futuro.

Deste modo, as entidades reguladoras (que, entre outras atribuições, definem as tarifas de uso da rede e os proveitos dos operadores de redes elétricas) estabeleceram que as tecnologias “inteligentes” que permitam cumprir as metas estabelecidas de política energética terão que ser também eficientes na perspectiva do custo, assumindo uma posição de neutralidade em relação às opções tecnológicas a tomar.

A *smart grid* envolverá produtos e serviços inovadores em conjunto com soluções inteligentes de monitorização e controlo, no sentido de:

- Facilitar a ligação e operação de produtores de todas as tecnologias e dimensões;
- Permitir que os consumidores tenham um papel mais interativo na optimização da operação do sistema;
- Disponibilizar aos consumidores (que podem ser simultaneamente produtores) uma maior informação e escolha quanto ao fornecimento;
- Aumentar a flexibilidade estrutural da rede e assim contribuir para um mais rápido restabelecimento de funções em caso de incidentes com elevado impacto (tecnologias de autor-regeneração da rede);
- Reduzir significativamente o impacto ambiental do conjunto do sistema elétrico;
- Fornecer níveis avançados de fiabilidade e segurança de abastecimento.

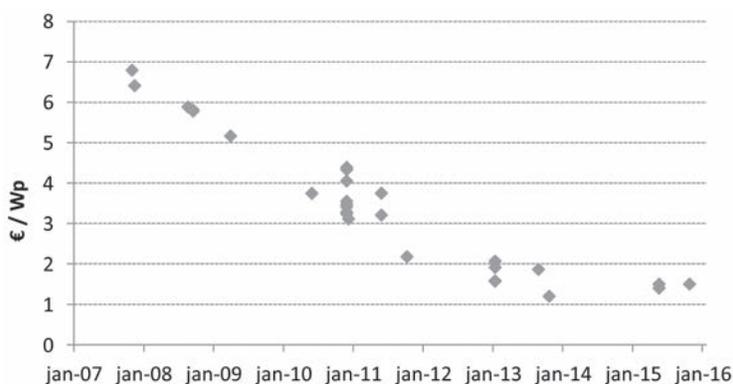
No sentido de fazer o acompanhamento da implementação deste novo paradigma das redes elétricas, o *Joint Research Centre* (JRC) da Comissão Europeia, no âmbito do *Institute for Energy and Transport* disponibiliza uma base de dados interativa sobre a evolução dos projetos *smart grid* europeus desde 2002 a 2014 (JRC, 2015), com diversas ferramentas disponíveis que permitem gerar mapas, gráficos e tabelas de forma personalizada. A JRC publicou o relatório “*Smart Grid Projects Outlook 2014*” (COVRIG et al., 2014), onde resume a base de dados “*JRC 2013-2014 Smart grid*” e apresenta 459 projetos em fase de investigação e desenvolvimento ou em fase de demonstração e concretização comercial, em que os 28 países da União Europeia (UE) estão envolvidos. O JRC disponibiliza também na sua página da internet um inventário sobre laboratórios de I&D que se dedicam a aplicações de *smart grid* (BLANCO et al., 2015).

4.1.2 - A evolução recente da produção solar fotovoltaica

Se a rede elétrica do futuro já estava prevista há algum tempo, a redução de custo que ocorreu com a produção de energia elétrica a partir de tecnologia solar fotovoltaica, desde 2007, não era esperada de forma tão acentuada. A Figura 1 apresenta a evolução do custo por unidade de potência instalada, em euro por Watt-pico (€/Wp), de instalações de microprodução solar fotovoltaica que foram instaladas em Portugal e a cujos orçamentos de execução se teve acesso.

Tendo partido, em 2007, de valores da ordem dos 7 €/Wp atingiu valores ligeiramente superiores a 1,2 €/Wp no final de 2013, tendo estabilizado desde então.

Fig. 1 – Tecnologia Fotovoltaica em Portugal: Evolução do Custo por Unidade de Potência em Instalações de Microprodução

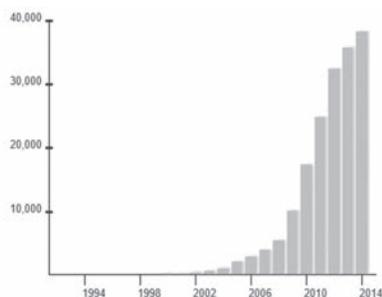


Fonte: elaboração própria (2016).

Na Europa, o caso mais significativo de sucesso de penetração do solar fotovoltaico ocorreu na Alemanha em que existiam 1,5 milhões de sistemas fotovoltaicos instalados em 2014, com uma potência de 38,5 GW e que produziram 34,9 TWh de energia elétrica, o que correspondeu a 6,8% da energia elétrica produzida nesse ano (FRAUNHOFER ISE, 2015a). A Figura 2 apresenta a evolução da potência instalada de produção solar fotovoltaica nesse país europeu e a Figura 3 apresenta o “mix energético” da Alemanha em 2014.

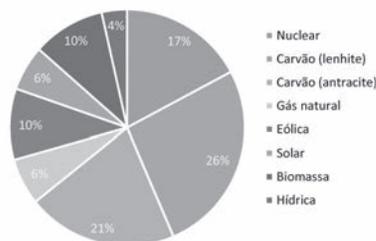
Por sua vez, a Figura 4 apresenta a evolução horária da produção de energia elétrica ocorrida nos dias 25 e 26 de maio de 2012, com a contribuição de cada uma das tecnologias disponíveis, visualizando-se o peso que a produção de energia elétrica de origem solar fotovoltaica teve durante esses dias. A Figura 5 apresenta o custo nivelado (*levelized cost*) de energia elétrica produzida por diferentes tecnologias de produção. Sabendo que na Alemanha, o preço da energia elétrica para o cliente doméstico (energia, redes e impostos) é superior

a 0,20 € /kWh e que, em Portugal, o preço médio da energia no mercado diário ronda 0,05€/kWh, poder-se-á concluir que os custos do solar fotovoltaico não só já atingiram a “paridade com a rede” (*grid parity*) como, também, já se aproximam da “paridade com o mercado” (*market parity*).



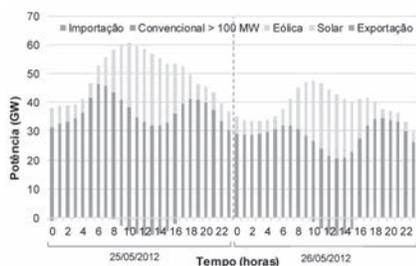
Fonte: Masson et al. (2015)

Figura 2 – Potência solar fotovoltaica instalada na Alemanha, em MW



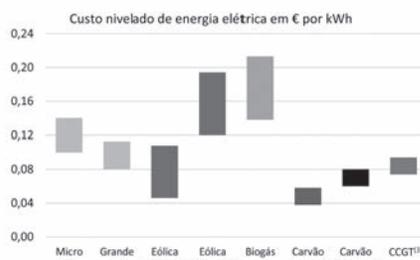
Fonte: adaptada de Burger (2014)

Figura 3 – “Mix energético” da Alemanha durante 2014



Fonte: Fraunhofer ise (2015b)

Figura 4 – Produção de energia elétrica na Alemanha nos dias 25 e 26 de maio de 2012



Fonte: adaptada de Kost et al. (2013)

Figura 5 – Custo nivelado de energia elétrica produzida por diferentes tecnologias na Alemanha em novembro de 2013

É reconhecido que o sucesso do solar fotovoltaico se deveu aos fortes subsídios de que beneficiou na última década. No entanto, atualmente esta tecnologia poderá já ter atingido a “maturidade”, designadamente porque as instalações mais recentes são competitivas com a produção de energia elétrica convencional a partir de combustíveis fósseis, como é o caso por exemplo, de uma instalação cujo licenciamento esteve recentemente em consulta pública em Portugal, para a análise de impacto ambiental (APA, 2015).

Perspectiva idêntica surge quando a revista Time noticia, em maio de 2015 (BARONE, 2015), que os sistemas fotovoltaicos instalados em lares americanos evoluíram de pouco mais de 20 mil em 2012, para 156 mil em 2013 e 644 mil em 2014.

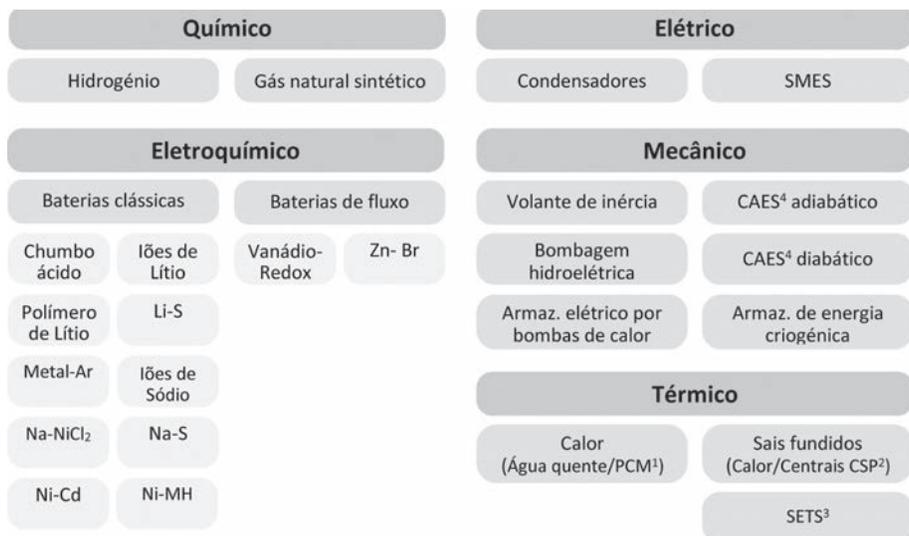
Com a evolução mais recente do seu custo, que a tornou competitiva quando comparada com as tecnologias tradicionais de produção de energia elétrica a partir de combustíveis fósseis, a produção solar fotovoltaica introduziu no mercado elétrico uma característica, que até agora é única, em que o fator de escala deixa de ser crucial para ser competitivo. Anteriormente, a produção de energia elétrica tinha uma dimensão mínima para que as centrais pudessem ser economicamente competitivas em ambiente de mercado, o que, por exemplo, no ciclo combinado de gás natural se situava em valores próximos de 400 MW de potência por instalação.

Ao permitir custos unitários de instalação e operação (€/MW), que são de ordem de grandeza aproximada para diferentes dimensões de instalações (sejam centrais de grande dimensão ou sistemas com pouco mais de 250 W), a tecnologia solar fotovoltaica poderá permitir que a produção distribuída se possa verdadeiramente afirmar e contribuir para colocar os clientes (incluindo os clientes domésticos) no centro do sistema elétrico.

4.1.3 - O Contributo do Armazenamento Distribuído de Energia Elétrica

A evolução do armazenamento de energia elétrica é a próxima fronteira tecnológica que se espera “abrir” na direção da rede elétrica do futuro. A Figura 6 apresenta o leque alargado de diferentes soluções tecnológicas disponíveis para o armazenamento reversível de energia elétrica, que passa por fazer o armazenamento utilizando soluções de natureza mecânica, eletroquímica, química, elétrica ou térmica.

Figura 6 – Tecnologias de Armazenamento de Energia Elétrica



¹PCM – Materiais de mudança de fase

²CSP – Centrais de concentração solar térmica

³SETS – Armazenamento termoeletrico “inteligente”

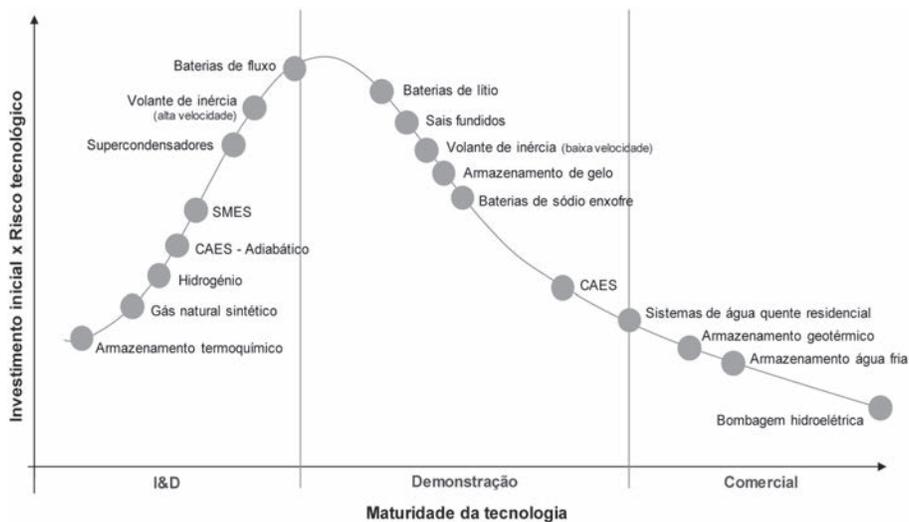
⁴CAES – Armazenamento de energia em ar comprimido

Fonte: adaptada de EASE (2015).

Verifica-se na Figura 7, no entanto, que muito poucas destas soluções são hoje consideradas como comercialmente competitivas. Regista-se, em especial, que a quase totalidade do armazenamento de energia elétrica reversível existente no mundo corresponde a barragens hidroelétricas com capacidade de bombagem³.

³ Portugal é um caso ilustrativo (FAIAS *et al.*, 2012). Com a integração em larga escala da tecnologia eólica de produção de energia elétrica e o desafio da intermitência e volatilidade do recurso disponível que esta tecnologia coloca, foi considerado necessário apostar na construção de sistemas de armazenamento hidroelétrico com capacidade de bombagem que, ao serem reversíveis, disponibilizam a flexibilidade necessária para uma operação segura do sistema elétrico. Assim, foi possível apostar em concretizar rários elevados de penetração de energia eólica no “*mix*” de produção nacional e, com um dimensionamento e uma exploração adequada do sistema elétrico, fazer uma otimização global de recursos, recorrendo ao armazenamento de energia elétrica quando a oferta de cariz renovável é excedentária face à procura e disponibilizando, essa energia armazenada, nas horas seguintes em que o preço de mercado é mais elevado. O fato de a rede elétrica portuguesa estar fortemente interligada à rede elétrica espanhola também facilita a aposta concretizada. O sucesso da tecnologia solar fotovoltaica volta a colocar um desafio idêntico já que a capacidade de produzir energia elétrica está diretamente ligada à incidência solar disponível, só sendo possível durante as horas do dia em que o sol está visível e com a energia que está a ser produzida instantaneamente por um determinado painel fotovoltaico a depender, mesmo com operação otimizada, de muitos outros fatores, tais como a localização geográfica, época do ano e nebulosidade ocor-

Figura 7 – Maturidade das Tecnologias Disponíveis de Armazenamento de Energia Elétrica



CAES – Armazenamento de energia em ar comprimido
SMES – Armazenamento de energia magnética por supercondutividade

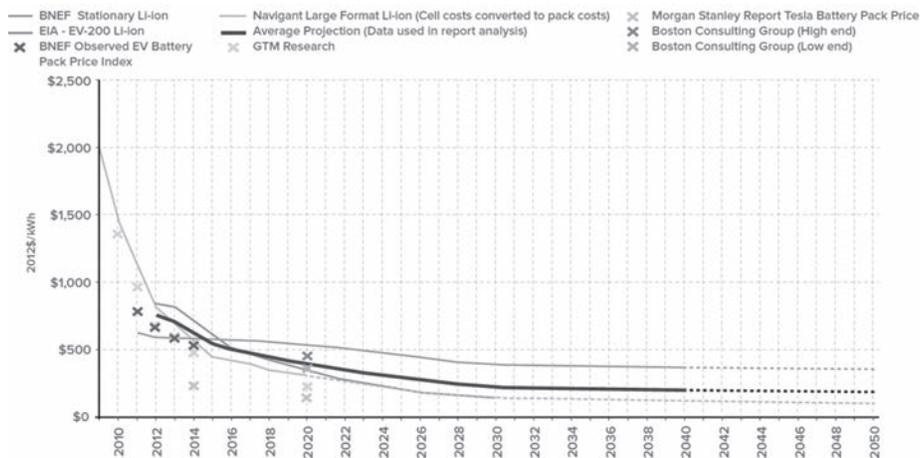
Fonte: adaptada de IEA (2014).

A confirmar-se a tendência de descida dos custos do armazenamento de energia em baterias, como se constata na Figura 8, o diferencial entre o custo do solar fotovoltaico e o preço da energia elétrica para o cliente doméstico (energia, redes e impostos) permitirá a aquisição de capacidade de armazenamento de energia elétrica por parte dos clientes.

Assim, um dos maiores desafios que se perspectiva para a rede elétrica do futuro é esta evolução para um sistema elétrico que, para além das soluções tradicionais centralizadas de produção e armazenamento, dispõe de recursos de produção e armazenamento distribuídos que são propriedade dos clientes, que tradicionalmente só participavam como consumidores no sistema.

rida. Mais uma vez, a bombagem hidroelétrica poderá ser uma solução complementar com interesse, armazenando o eventual excesso de produção face à procura durante o dia e aproveitando essa flexibilidade para disponibilizar a energia armazenada durante as horas em que não há sol ou em que se verifica maior procura.

Figura 8 – Preço Ocorrido e Previsto para as Baterias de Iões de Lítio

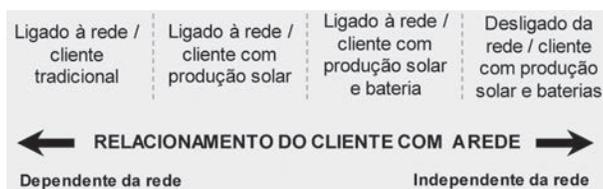


Fonte: Rocky Mountain Institute (2015).

4.1.4 – Relações entre Clientes e a Rede Elétrica

Focando-nos apenas nos dois eixos⁴ que este artigo procura aprofundar, no futuro, os clientes poderão optar por quatro modos de relacionamento com a rede elétrica, Figura 9.

Figura 9 – Diferentes Tipos de Relacionamento dos Consumidores com a Rede



Fonte: elaboração própria (2016).

O seu maior nível de dependência ou independência de relacionamento com a rede elétrica terá em conta a opção que poderá ser feita entre ser:

⁴ No futuro setor elétrico, outras opções poderão ser tidas em conta, que poderão passar, por exemplo, por escolhas de outras tecnologias de produção distribuída ou pela gestão ativa da carga. No entanto, o seu desenvolvimento extravasa o âmbito deste artigo.

- Cliente tradicional ligado à rede, que consome a energia elétrica que a rede lhe disponibiliza;
- Cliente com produção solar para autoconsumo, que se mantém ligado à rede para o essencial do fornecimento dos seus consumos elétricos;
- Cliente com produção solar para autoconsumo e armazenamento com baterias, que opta por se manter ligado à rede para, pelo menos, garantir a segurança de abastecimento;
- Cliente com produção solar para autoconsumo e armazenamento com baterias autónomo, que opta por se desligar completamente da rede elétrica.

A evolução dos custos unitários da energia produzida localmente ou consumida da rede (que inclui o custo do uso de rede) será primordial na opção que cada cliente irá fazer.

Ao verificar-se que o fator de escala deixou de ser essencial para a competitividade das soluções de produção de energia elétrica, os clientes tradicionais do tipo 1, que tenham condições para tal, passarão a ser clientes do tipo 2, instalando sistemas e produzindo a energia de que necessitam para o seu autoconsumo durante as horas em que o sol esteja disponível. No entanto, para a generalidade dos clientes domésticos, a parcela de energia que irá ser produzida para autoconsumo será bastante reduzida, tendo em conta que uma parte substancial do consumo doméstico ocorre nas horas em que não há sol e estes clientes não têm consumos que apresentem flexibilidade para alterarem as horas em que estes podem ocorrer. Com grande probabilidade, esta transição de clientes do tipo 1 para clientes do tipo 2 não terá, assim, grandes consequências nas redes elétricas, já que a ponta de utilização, em Portugal e na generalidade dos países europeus, ocorre no início da noite.

É esta a situação que ocorre hoje em Portugal, em que a legislação publicada recentemente (MAOTE, 2014, 2015) incentiva a produção de energia elétrica distribuída para autoconsumo sem a necessidade de introduzir qualquer outro incentivo. A aprendizagem com outras experiências permitiu evitar a opção pelo “*net metering*”⁵ que, tendo sido incentivador para o rápido aparecimento de uma maior quota de solar fotovoltaico, está a criar problemas delicados de sustentabilidade em alguns outros países europeus.

⁵ “*Net metering*” corresponde a um quadro regulamentar ao abrigo do qual o excesso de eletricidade injetada na rede por um determinado consumidor pode ser usado, num momento posterior, para compensar o consumo durante períodos em que a respetiva produção renovável local não é suficiente para satisfazer o consumo desse mesmo consumidor. Noutras palavras, ao abrigo deste regime, os consumidores usam a rede como um sistema de armazenamento para a sua produção de energia em excesso (tradução a partir de (EUROPEAN COMMISSION STAFF, 2015)).

Se for comercialmente atrativo, a generalização do armazenamento de energia elétrica distribuído poderá ter um impacto mais significativo na utilização da rede. Assim, se o diferencial entre o custo do solar fotovoltaico e o preço da energia elétrica para o cliente doméstico (energia, redes e impostos) permitir a aquisição de capacidade de armazenamento de energia elétrica por parte dos clientes, os clientes do tipo 2 poderão optar por ser clientes do tipo 3 e passarão a poder produzir energia elétrica para além da necessária para o seu autoconsumo durante as horas em que sol está disponível, aproveitando a flexibilidade que o armazenamento distribuído lhes disponibilizará para terem energia elétrica nas restantes horas. Nestas condições, surgirão diferenças significativas entre as quantidades da energia elétrica que os clientes efetivamente consomem e as quantidades fornecidas através da rede elétrica.

Os clientes do tipo 3 passarão a dispor de soluções alternativas à rede elétrica para o abastecimento parcial ou total de energia elétrica de que necessitam e, caso os custos de se estar ligado à rede seja excessivos, poderá ainda ocorrer uma migração deste tipo de clientes para clientes do tipo 4, que preferem estar desligados da rede elétrica.

O desafio para a regulação será conseguir criar condições para que essa migração se efetue sem pôr em causa a sustentabilidade do sistema, isto é, sem que os custos por unidade distribuída para os restantes clientes, que não podem migrar, sejam incomportáveis. Adicionalmente, a regulação deve garantir a adequação económica dos sinais preço das tarifas de uso das redes, para que as escolhas dos utilizadores das redes sejam racionais numa perspectiva sistémica.

O primeiro passo passa por apresentar tarifas de uso da rede elétrica que sejam comparáveis com o valor económico que o uso da rede elétrica representa, para um cliente com um muito baixo fator de utilização da rede, no domínio da continuidade de serviço, da qualidade da energia elétrica e da segurança de abastecimento.

Além de um nível adequado de preços, estes devem ter uma estrutura que reflita adequadamente os custos incrementais do uso das redes, em termos da relação entre componentes fixas e variáveis, entre preços de potência e de energia, ou mesmo em termos da relação entre preços de energia pelo uso em diferentes momentos no tempo (ponta da rede).

Em complemento, o setor elétrico deverá ser capaz de valorizar a flexibilidade que os clientes do tipo 3 podem oferecer para a otimização do sistema.

Com os aspetos económicos a serem essenciais na tomada de decisão que os diferentes clientes irão fazer quanto ao modo como se pretendem relacionar com a rede elétrica, este será um novo desafio para o setor que implicará alterações, pelo menos, quanto às estruturas de tarifas e preços, aos modelos regulatórios e aos modelos de negócio aplicáveis aos diferentes intervenientes do setor elétrico.

Ao contrário de provocar a migração dos clientes do tipo 3 para clientes do tipo 4, que se desligam da rede elétrica, o setor elétrico deverá aproveitar esta disponibilidade dos clientes, de investirem para terem custos com a energia elétrica mais baixos, como mais um elemento de concorrência em ambiente de mercado competitivo, permitindo colocar o cliente no centro do sistema, Figura 10.

Figura 10 – Colocar o Cliente no Centro do Sistema Elétrico



Fonte: adaptada de Mogg (2015)

Por outro lado, sendo a rede elétrica composta por ativos que, em média, apresentam um tempo de vida de utilização superior a 30 anos, para evitar possíveis futuros custos “afundados”, é fundamental que todas as novas opções de investimento tenham em consideração como provável evolução desta natureza. Deste modo, a eventual transição que se perspectiva irá sendo concretizada com tempo para uma adaptação do setor, sem disrupções “dramáticas” na regulação e na indústria do setor.

4.2 - A Visão da Regulação Europeia

Os reguladores europeus da energia têm estado atentos à evolução do setor elétrico e têm publicado posições conjuntas, através das suas estruturas associativas europeias, nomeadamente o CEER - Conselho dos Reguladores Europeus da Energia e a ACER- Agência para a Cooperação dos Reguladores Europeus da Energia, sobre temas relativos à “*Smart grid*” (CEER, 2011a, 2013a, 2014^a; ER-GEG, 2009a, 2010), nomeadamente, no que se refere a medidores⁶ inteligentes

6 O termo “medidores inteligentes”, utilizado no Brasil, é referido em Portugal, pelo setor elétrico, como “contadores inteligentes”.

(CEER, 2013b; ERGEG, 2009b, 2011), armazenamento (CEER, 2014b) e participação da demanda⁷ (CEER, 2011b; CEER, 2013c).

4.2.1 - Documento ACER “Energy Regulation: A Bridge to 2025”

Mais recentemente, em setembro de 2014 e após dois anos de reflexão conjunta sobre o tema, os reguladores europeus da energia publicaram o documento da ACER “Energy Regulation: A Bridge to 2025” (ACER, 2014) em que apresentaram a sua visão sobre a evolução do setor energético nos próximos dez anos. Deste modo, a visão dos reguladores europeus sobre como será o mercado elétrico, em 2025, passa por:

- Uma parte substancial da produção de energia elétrica ter origem em fontes diversificadas com um teor de carbono bastante baixo ou próximo de zero.
- Todas as formas de produção, de armazenamento e participação da demanda poderem competir em igualdade de condições e em todos os prazos de negociação, desde os horizontes temporais de longo prazo (relacionados com o investimento em infraestruturas) até ao associado à entrega em tempo real, em um mercado único de dimensão europeia, sem entraves justificados pela existência de fronteiras.
- A existência de um mercado atacadista⁸ com liquidez e competitivo, onde será valorizada uma participação flexível de todos os intervenientes, com o objetivo de garantir elevados níveis de segurança do sistema.
- As redes de transporte aumentarem as suas interligações transfronteiriças, com a capacidade transfronteiriça a ser calculada de modo dinâmico e maximizando uma sua utilização eficiente.
- As intervenções políticas estarem circunscritas às situações onde falhas de mercado foram identificadas e tendo o objetivo único de minimizar as distorções de mercado.
- O quadro regulatório assegurar o investimento económico nas redes, sem discriminar entre projetos nacionais e transnacionais, em benefício dos consumidores.
- Todos os clientes, sejam eles grandes consumidores industriais ou clientes domésticos, poderem participar ativamente no mercado (quer diretamente ou através de prestadores de serviços que se comportam como agregadores).

7 O termo “demanda”, utilizado no Brasil, é usualmente referido em Portugal, pelo setor elétrico, como “procura”.

8 O termo “atacadista”, utilizado no Brasil, é referido em Portugal, pelo setor elétrico, como “grossista”.

- Os consumidores poderem possuir e operar equipamentos de produção de energia elétrica ligados às suas instalações (industriais, de terciário ou domésticas).
- Tecnologias inteligentes e novos serviços estarem disponíveis para gerir o consumo de clientes de menor dimensão (incluindo clientes domésticos), auxiliando na operação da rede elétrica e contribuindo para a redução do seu custo, o que permitirá reduzir as contas de energia elétrica dos consumidores envolvidos.
- Novas tecnologias, como o armazenamento de energia elétrica (incluindo a capacidade de armazenamento inerente aos veículos elétricos), irão desempenhar um papel cada vez mais importante no mercado e a flexibilidade necessária para a operação do sistema elétrico.

4.2.2 - Flexibilidade Disponibilizada pela Demanda

Como já fora referido, no sistema elétrico do futuro, a estratégia de operação terá de deixar de ser a tradicional em que a “produção segue a procura”, caracterizada por uma produção centralizada e previsível que, sendo totalmente controlada, disponibiliza em tempo real os valores necessários para abastecer o consumo.

Neste novo contexto, a incerteza já não se encontra somente do lado do consumo elétrico, mas também em muita da produção disponível, de origem renovável, que também deixou de ser centralizada e se encontra distribuída por todos os níveis de tensão da rede. Em contrapartida, porque algum do consumo passa a ser controlável e se perspectiva a existência de capacidade de armazenamento distribuído, os clientes também poderão contribuir para a operação do sistema e beneficiar das receitas que essa participação irá gerar para reduzir os respetivos custos com energia elétrica⁹.

É assim que, a operação do sistema elétrico do futuro se terá que se basear num novo princípio em que a “demanda contribui com a produção e para o equilíbrio do sistema”.

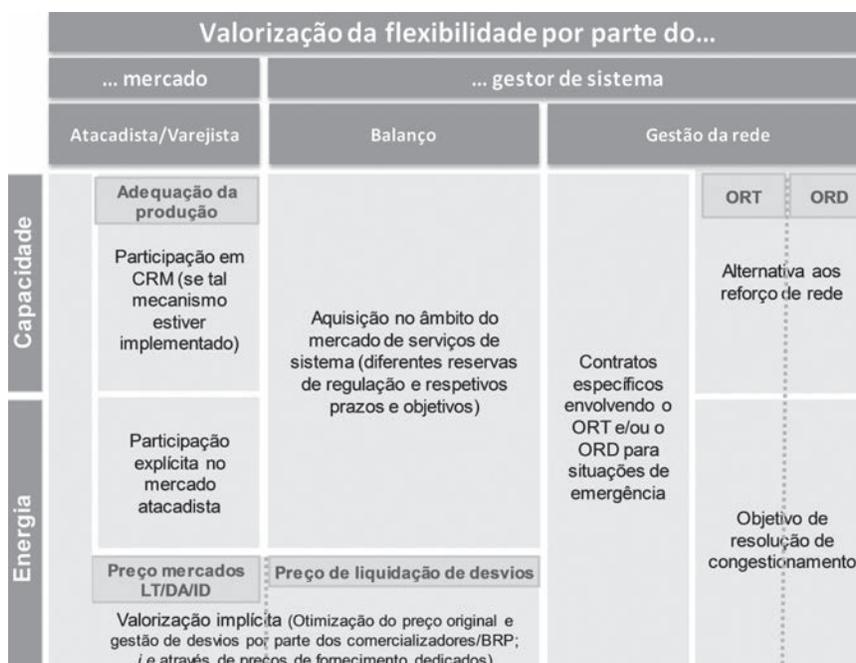
Foi neste sentido a reflexão realizada pelos reguladores europeus que realçaram a importância em assegurar que todos os recursos de flexibilidade disponíveis deverão poder participar em igualdade de circunstâncias nos mecanismos de mercado que se encontram estabelecidos e que deverão ser derrubadas todas as barreiras que dificultam essa participação por parte da procura, do armazenamento e da produção distribuída. O primeiro passo será começar por

⁹ A flexibilidade afeta os custos de energia, já que evita a entrada em funcionamento de tecnologias mais caras, e evita investimentos na rede, ao resolver potenciais congestionamentos.

abrir todos os segmentos de mercado (longo prazo, diário, intradiário, varejista¹⁰ e de serviços de sistema) à participação da flexibilidade disponibilizada pelos clientes, Figura 11.

A gestão da rede, seja na perspectiva operacional de tempo real (resposta a emergências) ou na perspectiva do planejamento¹¹ de investimento de novas redes e equipamentos (como com alternativas a reforços de rede ou na resolução de congestionamento), também será uma oportunidade para soluções de flexibilidade e participação ativa da procura.

Figura 11 – Exemplos de Segmentos de Mercado que Permitirão Valorizar a Flexibilidade Disponibilizada



ORT – Operador da rede de transporte ORD – Operador de rede de distribuição
 BRP – Agente responsável pela resolução dos desvios em sede de balanço CRM – Mecanismos de remuneração de capacidade
 LT – Longo Prazo (*Long Term*) DA – Diário (*Day Ahead*) ID – Intradiário

Fonte: adaptada de Bonnefoi (2015).

10 O termo “varejista”, utilizado no Brasil, é referido em Portugal, pelo setor elétrico, como “retalhista”.

11 O termo “planejamento”, utilizado no Brasil, é referido em Portugal como “planeamento”.

A reflexão conjunta dos reguladores europeus também concluiu que, apesar da importância da harmonização das regras no interior do espaço europeu, não será possível uma solução única de âmbito europeu.

De todo modo, sistemas elétricos diferentes terão diferentes necessidades de flexibilidade. Serão utilizadas ferramentas variadas (por exemplo: valorização implícita ou valorização explícita, com base no preço ou com base em incentivo, unidade única ou unidades agregadas), com cada segmento de mercado (atacadista, serviço de sistema, gestão da rede, ...) a ter de responder a desafios específicos. Preços de energia e tarifas dinâmicas de uso de rede em tempo real poderão ser uma medida eficiente, mas não serão suficientes.

Existe um desafio acrescido quanto à gestão da entrada de novos atores no sistema, dos quais são exemplo os agregadores. Identificados como necessários para aumentar a concorrência no sistema elétrico, dever-se-á garantir que não enfrentam nem barreiras injustificadas nem desvantagens injustas. A solução a adotar poderá diferir em função das características de cada mercado.

Os operadores das redes de distribuição irão ter funções acrescidas que ainda não se encontram totalmente identificadas (CEER, 2013d). Todavia, os reguladores europeus consideram que essas funções devem atender a alguns princípios básicos: i) os operadores devem ser diligentes e ir de encontro às expectativas razoáveis dos utilizadores das redes atuais e futuros; ii) os operadores devem atuar como facilitadores neutrais do mercado (incluindo o mercado dos serviços de energia); iii) os operadores devem atuar no interesse público, atendendo aos custos e benefícios das várias atividades; iv) os consumidores são os donos dos dados de consumo e os operadores devem assegurar a proteção desses dados.

A interação entre os operadores das redes de distribuição e o operador da rede de transporte será aumentada e o desenvolvimento da dimensão local do mercado de flexibilidade é mais um domínio onde é necessário a progredir e que coloca inúmeros desafios.

4.2.3 - “Inteligência” na Regulação dos Ativos das Redes Elétricas

O novo paradigma de redes “mais inteligentes” vai introduzir algumas alterações na regulação dos ativos de rede.

Como contraponto às redes tradicionais que são compostas por subestações, linhas elétricas, transformadores, proteções, relés e disjuntores, “cobre” e ativos com vida útil maior, a *smart grid* será também focada em:

- Ativos¹² que incorporam mais tecnologias de informação e comunicação;

12 As subestações, no seu todo, já incorporam bastante automação. As redes tradicionais já incorporam “inteligência” e as proteções não atuam cegamente, tendo bastante seletividade e capacidade de isolar e resolver defeitos, sobretudo em nível da rede de

- *Software*;
- Ativos com vida útil menor;
- Operação recorrendo a mecanismos de mercado para mobilização de recursos de flexibilidade dispersos na rede (consumidores, pequenos produtores, agregadores, armazenamento, veículos elétricos);
- Produção distribuída;
- Armazenamento distribuído;
- Cibersegurança.

Os ativos (regulados) “inteligentes” têm tempos de vida útil da ordem dos 10 anos e não os 30 ou 40 anos que os ativos característicos das redes tradicionais. Isto significa maior taxa de substituição, importando ter em consideração quais serão os impactos tarifários que daí poderão decorrer.

Por outro lado, a tecnologia continua a evoluir e um ativo mais “inteligente” com 5 anos de idade pode tornar-se obsoleto. Nessas condições, importa clarificar quem deverá suportar os custos, ou seja, o CAPEX não depreciado.

A principal importância dos incentivos é promover decisões dos operadores que sejam eficientes, sustentáveis (visão de longo prazo) e alinhadas com os objetivos da política energética.

Os reguladores não têm toda a informação nem assumem cada decisão de investimento (faz parte da atividade dos operadores). Pelo contrário, devem incentivar/orientar essa tomada de decisão, a bem do sistema elétrico e dos consumidores do presente e do futuro.

O balanço adequado entre investimento em linhas e transformadores e em tecnologias da informação e comunicação, entre inovação e soluções tradicionais, entre investimento e adiamento, deve ser promovido pela regulação, através dos mecanismos de incentivo regulatórios, e ir-se adaptando à evolução do próprio setor.

É por esta razão que é importante que os incentivos regulatórios e a partilha de riscos estejam corretamente equilibrados, para se conseguir ter os operadores de rede, a entidade reguladora, os consumidores e restantes utilizadores da rede alinhados e a concordarem que as redes inteligentes são o caminho para alcançar, com um custo menor, os objetivos sociais estabelecidos.

A “Inteligência” (“*Smartness*”) da rede elétrica do “futuro” ver-se-á também na sua capacidade em alinhar custos, benefícios e riscos.

transporte mas também nas redes de distribuição. Os relés e disjuntores vão continuar a ser necessários, e serão cada vez em maior número e mais caros, caso se queira aumentar a capacidade de reconfiguração das redes. Nas linhas e transformadores é que vai estar a redução da necessidade de investimento. A grande diferença estará na tecnologia de informação (infraestrutura e camada de dados em trânsito) e na mudança do tipo de atuadores que passarão a ter uma função bidirecional (sensores/atuadores).

Conclusões

No presente capítulo, analisam-se o conceito da rede elétrica para o século XXI e alguns dos desafios que a evolução mais recente do setor elétrico antecipa, nomeadamente decorrentes da redução do custo de instalação de produção de energia elétrica a partir da tecnologia solar fotovoltaica e as perspectivas de idêntica evolução poder vir a acontecer, no curto ou médio prazo, no que se refere ao armazenamento de energia elétrica em baterias eletroquímicas.

Ao fazer com que o fator de escala deixe de ser essencial para a competitividade das soluções de produção de energia elétrica e com a eventual generalização da utilização do armazenamento de energia elétrica distribuído, os clientes passarão a poder optar por diferentes tipos de relacionamento com a rede, já que terão disponíveis soluções alternativas para o abastecimento parcial ou total de energia elétrica de que necessitam, podendo passar pelo seu “desligar da rede”.

Neste enquadramento, o desafio para a regulação e para a indústria do setor elétrico será conseguir que os clientes valorizem adequadamente os benefícios de se manterem ligados à rede elétrica que, para além da sua utilização para o fornecimento de energia elétrica que necessitem adquirir, apresenta vantagens no domínio da continuidade de serviço, da qualidade da energia elétrica e da segurança de abastecimento.

Este será um novo desafio que implicará alterações, pelo menos, quanto às estruturas de tarifas e preços, aos modelos regulatórios e aos modelos de negócio aplicáveis aos diferentes intervenientes do setor elétrico. Tarifas de uso das redes adequadas, que não incentivem o abandonar da rede elétrica, são um dos passos, mas, em complemento, o setor elétrico deverá ser capaz de valorizar a flexibilidade que os clientes podem oferecer para otimizar o sistema.

É, assim, importante assegurar que todos os recursos de flexibilidade disponíveis deverão poder participar, em igualdade de circunstâncias, em todos os segmentos de mercado (longo prazo, diário, intradiário, varejista e de serviços de sistema) que se encontram estabelecidos e que deverão ser derrubadas todas as barreiras que dificultam a participação da flexibilidade disponibilizada pelos clientes, seja ela na forma de procura, de armazenamento ou de produção distribuída.

Como contrapartida às redes tradicionais, a *smart grid* será constituída por ativos que incorporam mais tecnologias de informação e comunicação, mais *software* e mais ativos com vida útil menor. Este novo paradigma de redes “mais inteligentes” vai introduzir algumas alterações na regulação dos ativos de rede. Só com os operadores de rede, a entidade reguladora, os consumidores e restantes utilizadores da rede alinhados e concordantes quanto às redes “inteligentes”

serem o caminho para alcançar, com um custo menor, os objetivos sociais estabelecidos, será possível concordar em incentivos regulatórios e numa partilha de riscos corretamente equilibrados. A “Inteligência” (“Smartness”) da rede elétrica do “futuro” ver-se-á na capacidade de todos os intervenientes alinharem custos, benefícios e riscos.

Referências Bibliográficas

ACER - AGENCY FOR THE COOPERATION OF ENERGY REGULATORS, *Energy Regulation: A Bridge to 2025 – Conclusions Paper*, September 2014.

APA - AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, *Processo AIA 2827 - Central Fotovoltaica de Alcoutim*, “Sistema de Informação sobre Avaliação de Impacte Ambiental”. Disponível <<http://siaia.apambiente.pt/AIA1.aspx?ID=2827>>. Acesso em: 10/11/2015.

BARONE, E., *Power struggle*, Revista “Time” (2015), edição de 18 de maio.

BLANCO, M. P., PRETTICO, G., ANDREADOU, N., GUARDIOLA, M. O., FULLI, G., COVRIG, C F., *Smart grids Laboratories Inventory 2015*, Publications Office of the European Union (2015): 1-95.

BONNEFOI, D., *NRA's views on the flexibility issue*, 28th meeting of the European Electricity Regulatory Forum, Florence, 2015.

BURGER, B., *Electricity production from solar and wind in Germany in 2014*, Fraunhofer Institute, Freiburg, Germany, 2014.

CEER - COUNCIL OF EUROPEAN ENERGY REGULATORS, *CEER status review of regulatory approaches to smart electricity grids*, C11-RMF-45-04, 2011a.

CEER - COUNCIL OF EUROPEAN ENERGY REGULATORS, *CEER Advice on the take-off of a demand response electricity market with smart meters*, C11-RMF-36-03, 2011b.

CEER - COUNCIL OF EUROPEAN ENERGY REGULATORS, *CEER Response to Draft think report: “From distribution networks to smart distribution systems: Rethinking the regulation of European DSOs”*, C13-SG-09-04, 2013a.

CEER - COUNCIL OF EUROPEAN ENERGY REGULATORS, *Status Review of Regulatory Aspects of Smart Metering – Including an assessment of roll-out as of 1 January 2013*, C13-RMF-54-05, 2013b.

CEER - COUNCIL OF EUROPEAN ENERGY REGULATORS, *CEER Response to Draft think report: "Shift, not drift: Towards active demand response and beyond"*, C13-CRM-69-05, 2013c.

CEER - COUNCIL OF EUROPEAN ENERGY REGULATORS, *The future role of the DSO - A CEER conclusions paper*, C13-CRM-69-05, 2013d.

CEER - COUNCIL OF EUROPEAN ENERGY REGULATORS, *CEER Status Review on European Regulatory Approaches Enabling Smart grids Solutions ("Smart Regulation")*, C13-EQS-57-05, 2014a.

CEER - COUNCIL OF EUROPEAN ENERGY REGULATORS, *CEER Memo on: "Development and Regulation of Electricity Storage Applications"*, C14-EQS-54-05, 2014b.

COVRIG, C F., ARDELEAN, M., VASILJEVSKA, J. , MENGOLINI, A., FULLI, G., AMOIRALIS, E., *Smart grid Projects Outlook 2014*, Publications Office of the European Union (2014): 1-157.

EASE - EUROPEAN ASSOCIATION FOR STORAGE OF ENERGY, *Energy Storage Technologies*, Disponível em: <<http://www.ease-storage.eu/technologies.html>>. Acesso em: 02/11/2015.

ERGEG - EUROPEAN REGULATORS GROUP FOR ELECTRICITY & GAS, *Position paper on Smart grids – An ERGEG Public Consultation Paper*, E09-EQS-30-04, 2009a.

ERGEG - EUROPEAN REGULATORS GROUP FOR ELECTRICITY & GAS, *Status Review on Regulatory Aspects of Smart Metering (Electricity and Gas) as of May 2009*, E09-ERMF-17-03, 2009b.

ERGEG - EUROPEAN REGULATORS GROUP FOR ELECTRICITY & GAS, *Position paper on Smart grids – An ERGEG Conclusions Paper*, E10-EQS-38-05, 2010.

ERGEG - EUROPEAN REGULATORS GROUP FOR ELECTRICITY & GAS, *Final Guidelines of Good practice on Regulatory Aspects of Smart Metering for Electricity and Gas*, E10-RMF-29-05, 2011.

EUROPEAN COMMISSION STAFF, *Best practices on Renewable Energy Self-consumption*, SWD(2015) 141 final, 15 de junho de 2015.

EUROPEAN TECHNOLOGY PLATFORM SMARTGRIDS, *Strategic Deployment Document for Europe's electricity networks of the future*, 2010. Disponível em: <www.smartgrids.eu/ETP_Documents>. Acesso em: 15/03/2016.

FAIAS, S., DE SOUSA, J., CASTRO, R., REIS, F. S., *Assessment and Optimization of Wind Energy Integration into the Power Systems: Application to the Portuguese System*, IEEE Trans. on Sustainable Energy, vol. 3, no. 4 (2012): 627-635.

FRAUNHOFER ISE - FRAUNHOFER INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS, *Recent Facts about Photovoltaics in Germany - update of 16th October 2015*, Fraunhofer ISE, Freiburg (2015a).

FRAUNHOFER ISE - FRAUNHOFER INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS, *Electricity production in Germany* (2015b). Disponível em: <<https://www.energy-charts.de/power.htm>>. Acesso em: 10/11/2015.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, *Energy Storage Technology Roadmap*, Paris, 2014.

JRC - JOINT RESEARCH CENTRE, *Smart Electricity Systems and Interoperability*. Disponível em: <<http://ses.jrc.ec.europa.eu/ses/>>. Acesso em: 02/11/2015.

KOST, C., MAYER, J. N., THOMSEN, J., HARTMANN, N., SENKPIEL, C., PHILIPPS, S., NOLD, S., LUDE, S., SAAD, N., SCHLEGL, T., *Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies*, Fraunhofer Institute (2013): 1-47.

MAOTE - MINISTÉRIO DO AMBIENTE, DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E ENERGIA, *Decreto-Lei n.º 153/2014*, Diário da República, 1.ª série — N.º 202, 20 de outubro de 2014.

MAOTE - MINISTÉRIO DO AMBIENTE, DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E ENERGIA, *Portaria n.º 14/2015*, Diário da República, 1.ª série — N.º 16, 23 de janeiro de 2015.

MASSON, G., ORLANDI, S., REKINGER, M., *Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018*, European Photovoltaic Industry Association (2014): 1-60.

MOGG, J., *Towards an Energy Union: Understanding how 'the Bridge' helps to pave the way*, Workshop "ACER-CEER Bridge to 2025 - One Year Anniversary", (2015).

Disponível em <http://www.ceer.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_WORKSHOP/CEER-ERGEG%20EVENTS/CROSS-SECTORAL/ACER-CEER_Bridge_2025-1st_Anniversary/Tab>. Acesso em: 15/03/2016.

ROCKY MOUNTAIN INSTITUTE, *The Economics of Load Defection*. Disponível em: <www.rmi.org>. Acesso em: 05/04/2015.

5

Estruturação do Problema e Definição de Critérios para Avaliação de Políticas de Apoio à Inovação em Redes Elétricas

Carlos Henggeler Antunes, Luís C. Dias

Resumo

A apreciação de políticas de apoio à inovação tecnológica no sector elétrico carece da definição de um conjunto de critérios de avaliação. Além da omnipresente dimensão económica, há potencialmente inúmeros critérios de natureza técnica, ambiental e social que podem ser utilizados em processos de avaliação. Neste contexto, é de primordial importância definir de forma estruturada um conjunto de critérios que possa servir de base a avaliações multicritério. Estes critérios deverão estar perfeitamente alinhados com os objetivos dos diferentes atores relevantes no setor elétrico que justificam o apoio a políticas de evolução para as smart grids, mobilidade elétrica e outras inovações tecnológicas.

Este capítulo apresenta uma aplicação de Métodos de Estruturação de Problemas para enquadrar a questão da avaliação de políticas de incentivo à inovação tecnológica no setor elétrico. Esta questão foi abordada segundo diferentes perspetivas utilizando a *Soft Systems Methodology*, identificando-se os atores relevantes no setor elétrico e um conjunto vasto de objetivos potenciais por estes referidos como motivação para a inovação tecnológica. Este conjunto de objetivos foi organizado e estruturado numa hierarquia que identifica sete objetivos fundamentais, o qual oferece uma base coerente para conceber e avaliar políticas e ações de apoio à inovação em redes elétricas.

Introdução

Os investimentos vinculados às inovações tecnológicas para garantir o reforço, a modernização e a expansão das infraestruturas dos sistemas elétricos, com o objetivo central de atender a uma demanda crescente com segurança, qualidade, e minorando os impactos ambientais, devem ser analisados sob diferentes perspetivas de avaliação dos respectivos méritos.

Neste sentido, destaca-se que a promoção e estruturação de um sistema elétrico sustentável e confiável têm como importante *driver* o desenvolvimento

de redes inteligentes (*smart grids*) associadas com medidas de gerenciamento da demanda, aumento da geração distribuída (especialmente microgeração), difusão da mobilidade elétrica e introdução de sistemas de armazenamento. Adicionalmente, estes vetores de desenvolvimento tecnológico representam novas oportunidades de negócios, que devem ser considerados pelas diretrizes regulatórias a fim de viabilizar o processo dentro da busca de eficiência técnica, viabilidade econômica e modicidade tarifária.

Mais do que uma mera inovação tecnológica, a difusão de redes inteligentes consiste em uma transição tecnológica. Neste contexto, é necessário, não somente o exame das variáveis tecnológicas presentes neste processo evolutivo, como é imperativo a considerar-se os interesses dos diferentes agentes envolvidos no processo.

Concomitantemente, observa-se que as características técnico-econômicas do setor elétrico (capital-intensivo, produto indiferenciado, tarifas reguladas, demanda inelástica, necessidade de equilíbrio instantâneo entre oferta e demanda, etc.) não induzem que o processo de inovações ocorra de forma endógena à dinâmica do setor, sendo então perceptível a necessidade da adoção de políticas públicas nesse sentido.

A complexidade do estudo das inovações tecnológicas e das políticas de incentivo associadas advém, sobretudo, da necessidade de contemplar nos modelos de avaliação aspectos de natureza distinta (tecnológica, econômica, financeira, social, regulatória), sendo muitas das variáveis envolvidas de natureza intangível. Assim, estes modelos devem permitir contemplar explicitamente múltiplos critérios de avaliação das políticas de acordo com as diferentes perspectivas dos potenciais agentes de decisão (também designados por decisores), de modo a auxiliar processos bem informados de apoio à tomada de decisões. Neste contexto, a estruturação das características do problema é uma etapa essencial.

Dado que a tomada de decisão no setor energético contempla variáveis de natureza muito heterogênea e agentes de diferentes esferas, os métodos tradicionais de avaliação, como, por exemplo, a análise custo-benefício, não permitem a consideração explícita de todos os elementos envolvidos em uma base realista e consensual. Esta limitação deve-se essencialmente às dificuldades de quantificação monetária de muitos aspectos do problema, bem como a dificuldade de tornar transparentes os compromissos a estabelecer entre as múltiplas perspectivas tidas em conta na avaliação.

Neste contexto, as metodologias multicritério de apoio à decisão (*Multiple Criteria Decision Aid - MCDA*) são particularmente adequadas para o tratamento de uma vasta gama de problemas, nos quais as ações potenciais devem ser julgadas de acordo com diferentes eixos de avaliação explicitamente considerados no modelo. Os modelos MCDA permitem incluir critérios de avaliação

de diferente natureza (econômicos, tecnológicos, sociais, ambientais, etc.), geralmente conflitantes e incomensuráveis, i.e., expressos em diferentes unidades de medida, tendo em conta os pontos de vista das várias partes interessadas (*stakeholders*), cada uma das quais apresentando, no processo de decisão, os seus valores, as suas preferências e os seus critérios.

Este capítulo versa sobre a importância da estruturação do problema como uma etapa fundamental da análise, permitindo fazer emergir uma compreensão mais profunda do problema bem como, através da interação com os *stakeholders*, os elementos essenciais a incluir no modelo MCDA, considerando a avaliação de políticas e ações de incentivo às inovações tecnológicas no setor elétrico.

5.1 - Metodologias de Estruturação de Problemas - *Soft Systems Methodology*

Como é reconhecido por múltiplos autores (BANA; COSTA *et al.*, 1999; BELTON *et al.* 1997; CHECKLAND; SCHOLLES, 1990; DIAKOULAKI *et al.*, 2006; KEENEY, 1992; POHEKAR; RAMACHANDRAN, 2004; VON WINTERFELDT; FASOLO, 2009), a fase de estruturação do problema deve constituir o primeiro passo, e um dos mais importantes, em processos de apoio à tomada de decisões. As experiências reais destes processos reportadas na literatura científica salientam a natureza crítica da fase de estruturação do problema, no sentido de coligir de forma organizada toda a informação relevante, melhorar a compreensão global da situação de decisão e definir claramente o problema a tratar (TSOUKIÀS, 2007).

Em geral, os problemas reais surgem em contextos complexos e pouco definidos. Assim, é necessário identificar as características essenciais da situação de decisão, estabelecer o âmbito e as fronteiras da análise, reconhecer os atores envolvidos, bem como as suas principais motivações e objetivos, e perceber quais as ações que podem ser desencadeadas (BANA; COSTA; BEINAT, 2010). Esta análise permitirá dotar todos os participantes no processo de uma visão comum e de uma base operacional da qual emergirá a identificação dos pontos de vista fundamentais, os critérios operacionais, e as potenciais ações que devem ser avaliadas.

Existem diversas Metodologias de Estruturação de Problemas (*Problem Structuring Methods*, PSM) para estruturação de situações de decisão complexas (ROSENHEAD, 1989, 1996). De acordo com Rosenhead (1996), as situações problemáticas complexas para as quais os PSM são especialmente úteis são caracterizadas por múltiplos atores e múltiplas perspectivas, interesses não consensuais (mesmo antagónicos) e diferentes unidades de medida dos impactos, presença de aspetos relevantes de natureza intangível, e incertezas sobre muitos elementos da situação de decisão. Os PSM apresentam duas características fundamentais: a facilitação e a estruturação. Por um lado, a facilitação visa

proporcionar um ambiente onde o debate entre os participantes é devidamente orientado de acordo com as componentes de cada PSM particular, permitindo-lhes clarificar o seu entendimento sobre a situação problemática. Já a estruturação refere-se mais geralmente ao processo de organização dos elementos do problema suscitados durante o debate, no sentido de permitir avançar em uma base comum de conhecimento do problema, contribuindo para melhorar a qualidade do processo de tomada de decisão.

Neste contexto, cada PSM propõe uma representação particular da situação problemática, devendo: permitir que diferentes perspectivas sejam analisadas, ser cognitivamente acessíveis (mesmo para os atores menos familiarizados com o tema), funcionar de forma interativa para que a representação do problema possa refletir a evolução do debate e a aprendizagem dos atores, permitir a identificação e o compromisso com melhoramentos parciais em vez de exigir uma solução global. Estes requisitos não obrigam a modelos ou métodos matemáticos e alguns PSM dispõem de *software* de apoio (MINGERS; ROSENHEAD, 2004). Os PSM propiciam um melhor conhecimento do papel desempenhado por cada ator, do seu grau de intervenção e do seu poder de influenciar as decisões, das relações entre os diversos atores e a identificação dos seus valores, objetivos e preocupações.

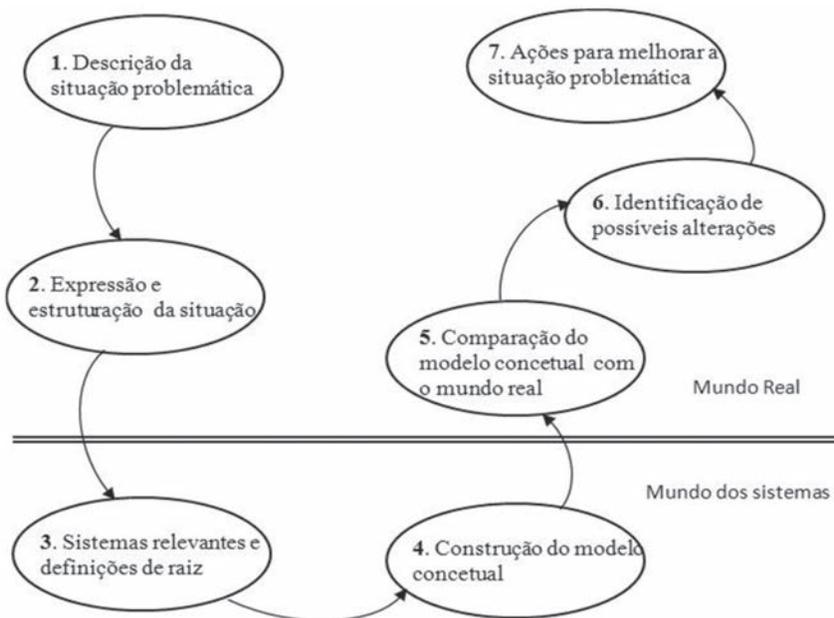
A aplicação de PSM a situações problemáticas de decisão no sector energético tem tido recentemente algum desenvolvimento, com destaque para a *Soft Systems Methodology* (SSM), um método geral de análise de sistemas, desenvolvido a partir de conceitos de engenharia de sistemas (CHECKLAND, 2001; CHECKLAND; SCHOLLES, 1990). Neves *et al.* (2004) utilizam a metodologia SSM para a estruturação do problema de avaliação de iniciativas de promoção da eficiência energética. Ngai *et al.* (2012) usam SSM para identificar oportunidades de apoio à gestão em sistemas de uso racional de energia nos processos de manufatura do sector têxtil. Coelho *et al.* (2010) usam também SSM para o exame de problemas de planeamento energético urbano. Importa, no entanto, referir que o panorama de PSM envolve vários outros métodos tais como *Strategic Options Development and Analysis* (SODA) / *Journey Making* (Eden e Ackermann, 2001), *Strategic Choice Approach* (SCA) (FRIEND, 2001), *Robustness Analysis* (ROSENHEAD, 2001) e *Drama Theory* (BENNETT *et al.*, 2001; MINGERS; ROSENHEAD, 2004).

As principais razões para a seleção da SSM para a realização deste estudo prendem-se com a experiência anterior na estruturação de problemas no setor energético (NEVES *et al.*, 2004; COELHO *et al.*, 2010), a sua flexibilidade na descrição da situação problemática, incluindo a definição do papel de cada participante, do seu grau de envolvimento e capacidade de intervenção, e das relações entre os diversos participantes. A abordagem SSM oferece um enquadramento sistémico para a condução da análise de processos onde as ques-

tões tecnológicas e a intervenção dos decisores humanos são interdependentes, como é o caso desta aplicação. Esta metodologia foi desenvolvida para aplicar os conceitos de engenharia de sistemas a problemas complexos, mal estruturados, onde as várias questões inter-relacionadas não se encontram claramente definidas (CHECKLAND, 1981; CHECKLAND; SCHOLLES, 1990; CHECKLAND; POULTER, 2006), com uma multiplicidade de visões do mundo e, portanto, de objetivos conflitantes de várias partes interessadas (DAELLENBACH, 1997).

A metodologia SSM permite a ligação entre as fases de estruturação e de avaliação de alternativas, permitindo evidenciar as principais questões de natureza distinta que devem ser incorporadas nos modelos de análise multicritério. A abordagem dos problemas utilizando a metodologia SSM é realizada, em geral, em um processo de pesquisa em 7 etapas, conforme está ilustrado na Figura 1. Neste diagrama há uma clara distinção entre o que expressa o Mundo Real e o Mundo dos Sistemas, que é conceitual. A linha que separa as fases 1, 2, 5, 6 e 7 das fases 3 e 4 indica que a análise usando SSM se debruça sobre duas preocupações: uma associada ao mundo real e outra focada no mundo dos sistemas, em uma perspectiva sistêmica.

Figura 1 – As Etapas da Metodologia SSM



Fonte: Elaboração Própria (2016).

A metodologia SSM inicia-se com a identificação de uma situação do mundo real considerada problemática por alguma parte interessada. A descrição da situação problemática tem como objetivo um diagnóstico da situação existente, identificando os intervenientes e a natureza do problema. Nesta fase de caracterização, a estratégia mais habitual é a representação gráfica da situação problemática em estudo. Estas representações gráficas incluem um conjunto de informações expressivamente pormenorizadas, sendo habitualmente conhecidas pela designação de *rich pictures*, incluindo todas as partes interessadas e as suas inter-relações, com o intuito de oferecer uma visão abrangente da situação problemática.

Selecionados os sistemas mais significativos, nas fases 3 e 4 a metodologia SSM constrói os respetivos modelos conceituais. A construção do modelo pressupõe a definição clara e objetiva do sistema a ser modelado, a designada definição raiz, cuja construção deve ser guiada no sentido de conter seis componentes, resumidas na mnemônica CATWOE: *Customers* (Clientes), *Actors* (Atores), *Transformation process* (Transformação), *Weltanschauung* (Visão do mundo), *Owner* (Dono), e *Environment constraints* (Ambiente). A definição destes termos é feita na Tabela 1.

Tabela 1 – Definição Raiz - CATWOE

| | |
|----------|--|
| C | Clientes – os beneficiários imediatos ou as vítimas do resultado do sistema. |
| A | Atores – os intervenientes na transformação, i.e. aqueles que realizam uma ou mais atividades dentro do sistema. |
| T | Transformação – o núcleo do sistema de atividades humanas, onde algumas entradas são convertidas em algum tipo de saída e passadas novamente aos clientes. Os atores tomam parte neste processo de transformação. |
| W | Visão do mundo (<i>Weltanschauung</i>) – a perspectiva ou ponto de vista que dá sentido à definição raiz em desenvolvimento. |
| O | Dono (<i>Owner</i>) – o indivíduo ou grupo responsável pelo sistema proposto. Tem poder para modificar ou mesmo parar o sistema, sobrepondo-se a outros atores do sistema. |
| E | Ambiente (<i>Environmental constraints</i>) – os sistemas de atividades humanas funcionam sob algumas restrições impostas pelo ambiente externo, sejam elas legais, físicas ou éticas. São elementos exteriores ao sistema, que este considera garantidos. |

Fonte: Elaboração Própria (2016).

A partir da definição raiz é desenvolvido o modelo conceitual (o mais simples possível) capaz de atingir a transformação descrita na fase 3. Este modelo

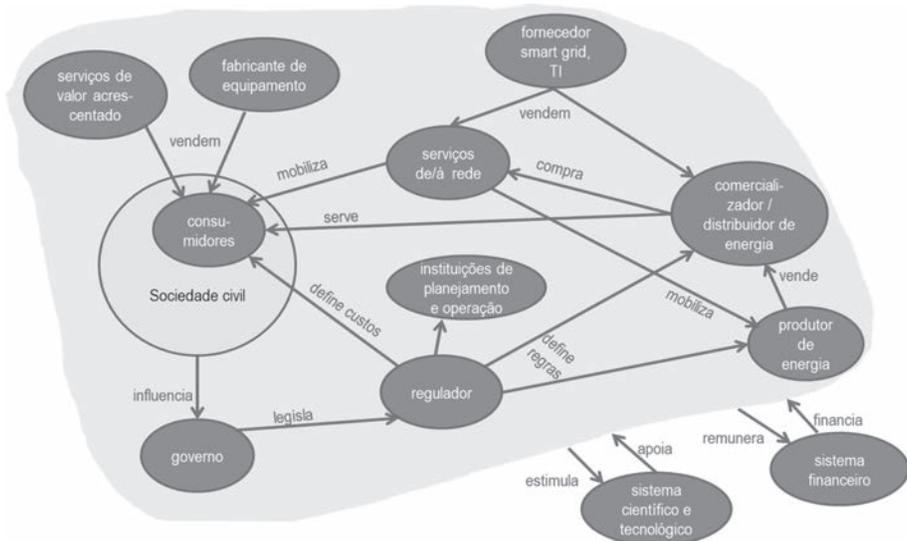
é constituído por um conjunto de atividades concebidas como um processo de transformação e ligadas por dependências lógicas (CHECKLAND; TSOUVALIS, 1997). Checkland (1981) destaca que a definição dessas atividades humanas deve ser dada por verbos que descrevam ações que os intervenientes possam desempenhar diretamente (e.g., recolher informação, fazer planos) e não por verbos que mais caracterizam consequências do que ações (e.g., diminuir custos). Os modelos conceituais devem depois ser validados através da comparação com um sistema formal. Um sistema formal possui os seguintes elementos: Propósito/missão; Medida de desempenho; Processo de tomada de decisão; Subsistemas ligados; Interação com o ambiente; Recursos físicos e humanos; e Continuidade. O modelo deve ainda incluir as atividades de monitorização e controle que avaliem a eficácia, a eficiência e a efetividade do sistema (CHECKLAND; SCHOLLES, 1990).

Uma vez concebido o modelo e voltando à situação problemática real, na fase 5 a metodologia SSM efetua a comparação entre o modelo e o mundo real. Nesta fase de comparação, a participação das partes interessadas é de grande importância, de modo a gerar debates sobre possíveis mudanças que desejavelmente possam ocorrer para melhorar a situação problemática. Com base nas comparações efetuadas, na fase 6 é possível identificar propostas de alterações que serão necessárias introduzir nos processos e nas estruturas do sistema real, as quais serão implementadas na fase 7. O sucesso da implementação exige que as alterações propostas sejam, além de desejadas, realizáveis.

5.2 - Aplicação da *Soft Systems Methodology*: análise da *Rich Picture*

Como ilustração de aplicação da metodologia SSM, a Figura 2 apresenta um diagrama das relações existentes entre diferentes atores potencialmente interessados no desenvolvimento das *smart grids*. O diagrama resulta de elementos recolhidos na literatura sobre o assunto, revendo as práticas internacionais em dezoito países, em visitas técnicas a Portugal, França, Itália e Alemanha, bem como das discussões que tiveram lugar no Seminário Internacional “Desafios da Regulação do Setor Elétrico”, em Coimbra, a 12-13 de fevereiro de 2015. Os elementos recolhidos foram posteriormente debatidos numa sessão entre especialistas do INESC Coimbra durante o mês de março de 2015 e apresentados em sessões de trabalho no GESEL, na EDP Brasil, no ONS e na ANEEL em novembro de 2015.

Figura 2 - Rich Picture para a Problemática das Smart Grids



Fonte: Elaboração Própria (2016).

Neste contexto, é possível identificar os seguintes atores:

- Os **Consumidores** são os clientes finais do serviço de distribuição de energia elétrica, podendo ser consumidores individuais ou empresariais (em sentido lato, incluindo outras instituições). Os Consumidores constituem uma parte importante da **Sociedade Civil**, que inclui os cidadãos enquanto indivíduos, mas também as associações que de alguma forma os representam, tais como associações de consumidores, associações ambientalistas, associações empresariais, ou mesmo os meios de comunicação social. Seja pelo voto direto dos cidadãos, seja pela pressão exercida por estas organizações, a Sociedade Civil influencia as políticas do Governo.
- O **Governo** inclui todos os poderes governamentais, a nível nacional, estadual ou local. Em particular, inclui o poder legislativo que determina o papel e a política geral do Regulador.
- O **Regulador** tem potencialmente um papel de mediação entre as partes interessadas no setor elétrico. É este ator quem define as regras que se aplicam a produtores, distribuidoras e comercializadores de energia elétrica, e detém ainda a prerrogativa de definir os custos nos quais os consumidores incorrem através do sistema tarifário.
- O **Produtor** de energia elétrica (EE) investe em capacidade de geração e vende a energia no mercado.

- O **Distribuidor** / Comercializador de EE (em alguns países este papel é desempenhado por empresas distintas) presta serviço de energia aos consumidores, cobrando pela disponibilidade desse serviço (taxa de potência) e pela energia vendida. Poderá contratar serviços de rede a outras entidades para melhor prosseguir os seus fins, assegurando a melhor forma de gerir e satisfazer a demanda.
- As **instituições de planejamento e operação** incluem todas aquelas que têm responsabilidade de realizar planejamento do sistema elétrico a longo prazo, bem como o operador do sistema de transporte, tendo por missão contribuir para assegurar o bom funcionamento global do sistema elétrico.
- Os **prestadores de serviços de/à rede** constituem um tipo de ator que poderá assumir maior protagonismo num contexto de *smart grid*. Incluem, por exemplo, entidades agregadoras que mobilizam consumidores para gestão da demanda no sentido da diminuição de pontas e oferta de serviços de sistema.
- As *smart grids* originam novas oportunidades de negócio para **fornecedores de equipamentos e de tecnologia**, que vendem os seus serviços aos atores intervenientes na distribuição de energia elétrica, bem como fabricantes de equipamentos destinados ao consumidor final. Nasce também oportunidades de negócio para **prestadores de serviços de valor acrescentado** (empresas de serviços de energia) ao consumidor.
- Todo este sistema interage com o **sistema financeiro**, que financia investimentos no contexto das *smart grids* a troco de uma remuneração pelo crédito concedido (risco assumido).
- Por outro lado, este sistema interage com o **sistema científico e tecnológico**, que lhe fornece conhecimento e recursos humanos qualificados para a operação de todos os atores, para a inovação e para o apoio à decisão.

Na análise CATWOE foram identificadas e exploradas quatro perspectivas sob as quais interessará promover as *smart grids* e os desenvolvimentos tecnológicos que lhe estão associados. Estas perspectivas são:

- a) **As *smart grids* como instrumento para otimização de recursos** - as *smart grids* (SG) servirão como uma forma inteligente de otimizar recursos, nomeadamente a capacidade de produção e distribuição, mas também o potencial “recurso escondido” que constitui a utilização mais eficiente da energia pelos consumidores.
- b) **As *smart grids* como oportunidade de desenvolvimento e negócio** - as SG constituem uma oportunidade para o desenvolvimento económico, fomen-

tando o nascimento de novos negócios e empresas, bem como promovendo a inovação tecnológica.

- c) **As smart grids para fomentar tecnologias amigas do ambiente** - as SG constituem uma oportunidade para fomentar tecnologias amigas do ambiente e eficiência energética, sobretudo por via da maior incorporação de energias renováveis no *mix* energético.
- d) **As smart grids para melhoria do empowerment do consumidor / micro-produtor** - as SG constituem uma oportunidade para aumentar o poder de consumidores e microprodutores, seja pela maior liberdade de escolha, seja pela maior liberdade de intervenção.

Para cada uma destas perspectivas a análise CATWOE permitiu identificar um conjunto de elementos a ter em conta para a definição de critérios de avaliação na análise MCDA, conforme sugerido por Neves *et al.* (2009). As Tabelas 2a) a 2d) apresentam a análise realizada para cada uma destas perspectivas.

Tabela 2a) - Análise CATWOE para a Perspectiva “As Smart Grids como Instrumento para Otimização de Recursos”

| | |
|--|--|
| <p>Clients (Clientes)</p> <p>Gestor de sistema, Distribuidor</p> <p>Sociedade</p> | <p>Que benefícios ou prejuízos e porque são importantes?</p> <p>Menos custos, melhor qualidade de serviço (QoS), melhor informação/monitoramento, flexibilidade de gestão, menor risco técnico Ciber-risco</p> <p>Menos custos e perdas, melhor qualidade de serviço</p> <p>Menor privacidade, menor equidade</p> |
| <p>Actors (Atores)</p> <p>Gestor de sistema, Produtor, Distribuidor</p> <p>Consumidor</p> | <p>O que é um bom/mau desempenho?</p> <p>Menores custos, maior resiliência e confiabilidade</p> <p>Colapso/disfunções da rede, fugas de informação sensível, falhas de compromisso</p> <p>Fraude/crime, falhas de compromisso, não colaboração</p> |
| <p>Weltanschauung (Visão do mundo)</p> <p>As SG permitem evitar ineficiências</p> | <p>Objetivos revelados</p> <p>Uso eficiente de capacidade instalada</p> <p>Mercado mais eficiente</p> |

Owner (Dono)

Governo, Regulador

Porquê parar ou alterar a atividade?

Aceitação social, falta de recursos financeiros, benefícios econômicos não comprovados

| | |
|---|----------------------------------|
| Environmental constraints (Ambiente) | Objetivos revelados |
| Recursos Financeiros | Modernizar rede |
| Base tecnológica atual | Formar quadros e desenvolver P&D |
| Know-how existente | Difusão tecnológica |
| Potencial existente | Segurança abastecimento |

Fonte: Elaboração Própria (2016).

Tabela 2b) - Análise CATWOE para a Perspectiva “As Smart Grids como Oportunidade de Desenvolvimento e Negócio”

| | |
|--|--|
| Clients (Clientes) | Que benefícios ou prejuízos e porque são importantes? |
| Produtor centralizado, Microprodutor, | Alterações na produção solicitada a cada produtor |
| Distribuidor, Comercializador, | Complexidade de gestão |
| Empresas de serviços, fabricantes, sector de tecnologias de informação e comunicação | Novos produtos e serviços |

Actors (Atores)

Produtor centralizado, Microprodutor,
Distribuidor, Comercializador,
Empresas de serviços, fabricantes, sector de tecnologias de informação e comunicação

O que é um bom/mau desempenho?

Lucros
Quota de mercado
Novos produtos e serviços
Empregos qualificados

| | |
|---|--|
| Weltanschauung (Visão do mundo) | Objetivos revelados |
| As SG trazem um novo paradigma de negócio | Fomentar atividade económica, inovação e concorrência. |

Owner (Dono)

Empreendedores, Sistema financeiro, Governo, Regulador

Porquê parar ou alterar a atividade?

Impostos, concorrência, grau de endividamento, balança comercial

| | |
|--|--|
| Environmental constraints (Ambiente) Legislação, Capital, Capacidade tecnológica, Qualificação dos recursos humanos | Objetivos revelados Facilitação legislativa Remuneração atrativa Promover evolução tecnológica do país Formar recursos humanos qualificados |
|--|--|

Fonte: Elaboração Própria (2016).

Tabela 2c) - Análise CATWOE para a Perspectiva “As Smart Grids para Fomentar Tecnologias Amigas do Ambiente”

| | |
|--|---|
| Clients (Clientes) Sociedade, Governo, Produtor com recursos fósseis | Que benefícios ou prejuízos e porque são importantes? Impacto nas alterações climáticas, biodiversidade, habitats, saúde humana. Menor utilização de comb. fósseis |
| Actors (Atores) Governo, Regulador | O que é um bom/mau desempenho? Penetração de renováveis na rede / intensidade de carbono da rede. |
| Weltanschauung (Visão do mundo) As SG são um meio para aumentar renováveis e mobilidade elétrica | Objetivos revelados Mobilidade elétrica. Fomentar energias renováveis |
| Owner (Dono) Governo, Regulador, Opinião pública | Porquê parar ou alterar a atividade? Custos para o consumidor Dificuldades na satisfação da demanda Existência de alternativas mais baratas |
| Environmental constraints (Ambiente) Acordos internacionais, Potencial existente | Objetivos revelados Cumprir metas Utilizar potencial de forma eficiente Expandir potencial |

Fonte: Elaboração Própria (2016).

Tabela 2d) - Análise CATWOE para a Perspectiva “As *Smart Srids* para Melhoria do Empowerment do Consumidor / Microprodutor”

| | |
|--|--|
| <p>Clients (Clientes) Consumidor Microprodutor</p> | <p>Que benefícios ou prejuízos e porque são importantes? Poupanças (energia e tarifa) Mais informação Ganho económico, acesso a mercado</p> |
| <p>Actors (Atores) Governo, Regulador</p> | <p>O que é um bom/mau desempenho? Barreiras no acesso à rede Benefícios para os agentes Melhor qualidade de serviço</p> |
| <p>Weltanschauung (Visão do mundo) As SG são um agente liberalizador de mercado, permitindo alcançar maior eficiência</p> | <p>Objetivos revelados Eficiência dos mercados Aumento de competição</p> |
| <p>Owner (Dono) Consumidor Microprodutor Governo</p> | <p>Porquê parar ou alterar a atividade? Falta de rentabilidade Barreiras burocráticas Instabilidade na rede Não sustentabilidade do negócio tradicional</p> |
| <p>Environmental constraints (Ambiente) Educação do consumidor Capacidade técnica e financeira</p> | <p>Objetivos revelados Preocupação com as capacidades dos agentes</p> |

Fonte: Elaboração Própria (2016).

5.3 - Arcabouço para o Apoio à Decisão em Política Energética: a avaliação multicritério

5.3.1 - Avaliação Multicritério: um enquadramento

Muitas decisões baseadas em modelos matemáticos são tomadas considerando apenas um objetivo que se pretende maximizar ou minimizar (paradigma da otimização). Porém, frequentemente, o critério único pode esconder várias perspectivas, ou pontos de vista, sobre a situação de decisão. Tais perspectivas são frequentemente convertidas em ganhos ou custos monetários, ou ainda numa relação benefício/custo, embora as formas de converter dimensões de

natureza ambiental ou social em unidades monetárias não sejam sempre praticáveis nem isentas de controvérsia (DEPARTMENT FOR COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT, 2009).

Em alternativa, o apoio multicritério à decisão visa ajudar o decisor (ou decisores) a agir de forma coerente com o seu sistema de preferências, através da consideração explícita de múltiplos critérios de avaliação (DIAS, 2000; DIAS *et al.*, 2015). Segundo Bouyssou (1993) há três vantagens principais em adotar um paradigma de avaliação multicritério:

- i. Trata-se de um paradigma que permite a constituição de uma base para o diálogo entre os intervenientes utilizando diversos pontos de vista comuns. É encorajada a inclusão no modelo de quaisquer aspetos que sejam considerados importantes para a avaliação por alguma das partes interessadas, contribuindo assim para fomentar a sua participação ativa e para a aceitação dos resultados;
- ii. Este paradigma permite maior facilidade na definição do mecanismo de mensuração e da incorporação de incertezas nos dados sobre cada critério individualmente. Desta forma, também contribui para aumentar a transparência do processo, sem recorrer a mecanismos de conversão arbitrários que possam suscitar reservas por algumas das partes interessadas.
- iii. Possibilita encarar cada solução como um compromisso entre objetivos em conflito, sendo esta a vantagem mais importante da adoção deste paradigma. Este último argumento sublinha que raramente se encontrará uma situação em que exista uma solução superior às restantes face a todos os pontos de vista em presença, pelo que a explicitação de vários critérios ajudará a evidenciar o carácter conflitante dos pontos de vista dos atores, tanto a nível individual como a nível coletivo.

Observa-se que a avaliação de alternativas em problemas inerentes à área da energia e meio ambiente tem beneficiado, cada vez mais, da aplicação de instrumentos de avaliação multicritério (EHRGOTT; STEWART, 2010; HUANG *et al.*, 2011; LINKOV; MOBERG, 2012; WANG *et al.*, 2009). Em traços gerais, é importante distinguir três etapas num processo de decisão: estruturação do problema, construção do modelo de avaliação e exploração do modelo de avaliação. Estas fases são brevemente descritas a seguir.

5.3.2 - Estruturação de um Modelo de Avaliação

No início de um processo de decisão, raramente surgem pré-especificados o conjunto das alternativas que podem ser realizadas e o conjunto dos critérios

a ser utilizado para as avaliar. É, portanto, necessário procurar essas alternativas e esses critérios. Keeney (1992) distingue dois modos de fazer isso: com ênfase nas alternativas e com ênfase nos valores ou critérios. No primeiro caso identificam-se as alternativas, depois identificam-se os critérios e por fim avaliam-se as alternativas utilizando os critérios. No segundo caso começa-se por identificar os critérios (a partir dos valores dos decisores), depois identificam-se as alternativas e por fim procede-se à avaliação, sendo esta a abordagem defendida por Keeney. Em geral, existe um processo iterativo, em que após identificar os valores, se especificam as alternativas, reiterando-se o processo as vezes necessárias.

A estruturação de um modelo debruça-se, sobretudo, sobre a forma como serão avaliadas as alternativas existentes ou a criar. Um aspecto fundamental a ter em conta é a definição e organização (geralmente uma hierarquia) do conjunto de critérios a considerar, tendo em conta os interesses, as preocupações e os valores das partes interessadas. Pretende-se que o conjunto de critérios no topo da hierarquia seja conciso, mas ao mesmo tempo capaz de englobar todos os aspectos tidos como essenciais e evitando redundâncias. Pretende-se ainda que os objetivos expressos sejam aqueles que realmente preocupam os decisores (KEENEY, 1992).

A utilização de técnicas de estruturação de problemas como a *Soft Systems Methodology* constitui uma importante ajuda no processo de definição dos critérios de avaliação (NEVES *et al.*, 2009). Por sua vez, a especificação de alternativas e critérios de avaliação não é alheia à outra discussão presente na etapa de estruturação, que consiste na identificação dos atores relevantes. Na tomada de decisão no contexto organizacional há atores internos e externos que podem influenciar o processo de decisão, seja porque intervêm no processo, seja de forma indireta, porque aqueles que intervêm têm em consideração as suas opiniões e possíveis reações. Importa ainda distinguir quais dos atores serão intervenientes diretos no processo de decisão e que entidade ou entidades poderão ser consideradas o decisor.

Essencialmente, a fase de estruturação visa fornecer elementos de resposta a questões relativas ao enquadramento do problema (Qual é o problema? Qual é a missão da avaliação?), a questões relativas aos atores (O que é praticável? Quem informa? Quem é informado?), e a questões relativas aos objetivos (O que é desejável? Quais são os interesses essenciais?). A fase de estruturação é extremamente importante, pois é sobre ela que se edifica a fase da avaliação.

5.3.3 - Métodos de Avaliação Multicritério

Em linhas gerais, no caso em que o conjunto de alternativas é discreto, pode dividir-se a avaliação das alternativas em duas etapas. Em uma primeira etapa avalia-se cada alternativa segundo cada critério. Na segunda etapa, agregam-se

as avaliações segundo cada critério de modo a obter uma avaliação global, expressa por uma estrutura de preferências multicritério.

A avaliação de uma alternativa, mesmo considerando apenas um ponto de vista, pode ser complexa e congruar vários dos seus efeitos e atributos. É necessário definir a forma como será medido o desempenho de cada alternativa segundo cada critério: através de um atributo natural da alternativa (e.g., a área de um terreno), através de um indicador indireto (e.g., emissões de CO₂ de um veículo num percurso padrão), construindo uma fórmula, ou mesmo definindo uma escala de níveis qualitativos (e.g., KEENEY; SICHERMAN, 1983).

As escalas associadas a cada critério podem ter um caráter ordinal ou cardinal. No primeiro caso, existe um conjunto finito e geralmente pequeno de níveis de desempenho de caráter qualitativo. Um erro comum consiste em atribuir códigos numéricos a tais níveis e posteriormente operar com esses valores como se de quantidades se tratasse (por exemplo, calculando médias). No caso quantitativo, os níveis de desempenho são expressos numa escala numérica, onde as diferenças entre valores podem ser comparadas (escalas de intervalo; e.g., escala de temperaturas). Um requisito mais forte é o das escalas de razão, onde existe um zero absoluto (e.g., escala monetária), o que legitima o cálculo de razões entre valores.

Chega-se assim a uma tabela de desempenhos que sumaria a forma como cada alternativa é avaliada em cada um dos vários critérios. Salvo no caso em que se verifique uma relação de dominância¹, a comparação de duas alternativas terá que implicar uma ponderação das vantagens e desvantagens de cada uma, habitualmente considerando que uns critérios podem ser mais importantes do que outros. É nesta fase que importa selecionar e parametrizar um método de agregação multicritério.

Distinguem-se tradicionalmente três classes de métodos para agregação de preferências (ROY, 1985; SCHÄRLIG, 1985):

- Abordagem do critério único de síntese excluindo incomparabilidade (agregação completa), que se caracteriza por procurar atribuir um valor de desempenho global a cada uma das alternativas, agregando os seus desempenhos nos vários critérios.
- Abordagem da relação de prevalência (*outranking*) de síntese aceitando incomparabilidade (agregação parcial), caracterizando-se por construir e explorar uma ou várias relações binárias sobre o conjunto das alternativas.
- Abordagem do critério julgamento local interativo com interações de tentativa e erro ou métodos de agregação local, os quais funcionam tipicamente

¹ Diz-se que uma alternativa A é dominada por uma alternativa B se o desempenho de B for igual ou melhor que o de A em todos os critérios, sendo estritamente melhor em pelo menos um critério.

como algoritmos interativos em que se alternam fases de diálogo com fases de cálculo.

5.4 - Identificação de objetivos fundamentais numa abordagem *Value-Focused Thinking*

O conhecimento cabal dos objetivos do decisor é essencial para providenciar processos de apoio à tomada de decisões que produzam recomendações solidamente ancoradas na informação disponível. Dado que os objetivos fornecem as bases para a valorização e comparação das alternativas, a falha em reconhecer os objetivos relevantes pode conduzir a decisões inadequadas. Estas considerações suscitam uma questão crítica: face a uma decisão de grande importância, será que os decisores desenvolvem naturalmente um conjunto de objetivos para nortear essa decisão? BOND *et al.* (2010) são inequívocos na sua resposta negativa a esta questão, com base na sua análise de um vasto conjunto de resultados de investigação neste domínio. Examinando uma lista de objetivos auto-gerados no âmbito de processos de apoio à decisão, Bond *et al.* (2008) notaram que os participantes falhavam surpreendentemente na geração de uma larga fatia dos seus objetivos (cerca de 50% nos estudos reportados). Para além disso, a análise da valorização da importância atribuída aos objetivos revelou que os objetivos que não tinham sido considerados estavam por vezes entre os mais importantes.

Bana e Costa (1992) e Keeney (1992) apresentam metodologias para explicitar valores através de uma estrutura de objetivos (ou pontos de vista) para a avaliação das alternativas. A construção de um modelo para avaliar as alternativas envolve a procura de um conjunto de objetivos fundamentais. Os objetivos fundamentais podem agrupar vários sub-objetivos (pontos de vista elementares), por forma a serem aceitáveis para todos os atores e serem isoláveis entre si. Por isolabilidade de um ponto de vista, entende-se que a avaliação das alternativas segundo as preocupações que esse objetivo fundamental representa não depende de nenhum outro objetivo fundamental.

O conjunto dos objetivos fundamentais originará naturalmente o conjunto de critérios a utilizar na avaliação das alternativas. Cada um dos objetivos fundamentais deverá ser isolável, relevante (indicam-se apenas os aspectos relevantes para o processo de decisão em causa), operacional (a avaliação das alternativas é praticável, considerando o tempo e esforço disponíveis) e compreensível (todos os intervenientes entendem o que significa). Por outro lado, o conjunto dos objetivos fundamentais deverá ser: conciso (por se reduzir ao mínimo o nível de detalhe), exaustivo (por se incluírem todos os aspectos fundamentais), não redundante (por se evitar a duplicação de eventuais consequências) e coeso (porque, mantendo-se todo o resto igual, uma melhoria segundo um objetivo fundamental é sempre considerada desejável) (ROY, 1985).

Os objetivos fundamentais referem-se a preocupações de avaliação que se revelem efetivamente essenciais, i.e., não subordinadas a nenhuma outra. Os objetivos fundamentais podem, pois, descobrir-se questionando sempre porque é que determinado ponto de vista é importante. Por exemplo, na discussão de porque é importante o objetivo de reduzir o consumo de energia elétrica, o decisor poderá revelar que tem o objetivo fundamental de reduzir o custo para o consumidor, ou revelar que tem o objetivo fundamental de reduzir as emissões de gases de efeito de estufa, ou até revelar que tem estes dois objetivos fundamentais. A distinção entre objetivo-meio e objetivo-fim é importante. Por exemplo, se o objetivo for reduzir as emissões de gases de efeito de estufa, interessa não só o consumo de eletricidade como também a sua intensidade de carbono. Se a questão “porque é importante?” for feita para um objetivo fundamental, o decisor responderá que este corresponde a uma das suas preocupações centrais sobre a decisão em causa, em lugar de se referir a outro objetivo de ordem superior.

O processo oposto ao de escalada é o processo de descida: para determinado ponto de vista, quais os elementos que poderão influenciá-lo? O facto de um mesmo elemento contribuir para dois objetivos fundamentais não coloca necessariamente em causa a condição da sua isolabilidade.

A construção de uma hierarquia de valores pode seguir uma abordagem *top-down* ou *bottom-up* (KEENEY, 1992; PARNELL *et al.* 2013). A abordagem *top-down* começa por identificar os objetivos fundamentais, que são posteriormente decompostos em sub-objetivos até ao nível dos atributos a medir. Tem como vantagem centrar-se nas razões principais para conduzir a avaliação, mas pode potencialmente negligenciar alguns subcritérios na fase de decomposição. A abordagem *bottom-up* parte de diferentes atributos considerados relevantes para uma progressiva hierarquização dos mesmos. Tem como vantagem a discussão dos assuntos a um nível mais concreto e compreensível, mas pode perder-se a perspectiva mais geral.

Por exemplo, em um contexto de avaliação multicritério de medidas de promoção da eficiência energética, Neves *et al.* (2009) usaram os conceitos de *Value Focused Thinking* propostos por Keeney (1992) para desenvolver as árvores de critérios a partir dos resultados de um estudo de estruturação do problema usando uma abordagem *Soft Systems Methodology*. Uma lista de objetivos obtida em *workshops* SSM foi progressivamente expandida e refinada para definir as estruturas de objetivos fundamentais, com as propriedades acima descritas. Por exemplo, alternativas já conhecidas serviram para identificar valores não ainda refletidos na lista de objetivos. Ou ainda, a discussão de vantagens e desvantagens das alternativas foi usada para descobrir valores úteis para diferenciar as alternativas. Por exemplo, a análise das razões para considerar uma dada alternativa como um exemplo da melhor ou da pior é uma forma prática de identificar outros objetivos. Também o uso de metas, restrições ou guiões é uma outra possível fonte de revelar objetivos.

5.5 - Estrutura de Objetivos para Avaliação de Políticas de Apoio à Inovação em Redes Elétricas

Neste trabalho seguiu-se a metodologia apresentada na seção anterior, procurando conjugar as vantagens das abordagens *bottom-up* e *top-down*. Proce- deu-se a uma análise *bottom-up* para informar a definição de um conjunto de objetivos fundamentais e para verificar se a posterior decomposição *top-down* não negligenciou nenhum aspecto relevante.

Assim, a “nuvem” de assuntos eliciada a partir do levantamento anterior- mente realizado (apresentada na Figura 3), foi a base para a estruturação dos objetivos fundamentais. A semântica das diferentes expressões foi analisada tendo em conta o contexto em que cada umas delas emergiu, por forma a orga- nizar *clusters* de assuntos relacionados com preocupações referentes a um mes- mo objetivo. Segundo Bond et al. (2010), a investigação na área da psicologia acerca de memória sustenta a hipótese de que o *clustering* de categorias é um importante apoio para a identificação de objetivos. A definição de categorias favorece a capacidade de realizar cruzamentos entre as mesmas e de enrique- cer a lista de objetivos. As categorias também funcionam como estímulo para recordar itens-alvo na memória que lhes estejam conceptualmente relacionados (*cue-dependent retrieval*).

Figura 3 - “Nuvem” de Assuntos Eliciada na Literatura Científica e em *Workshops*.

| | | | |
|--|--|--|---|
| Acessibilidade para o regulador | Cumprir metas ambientais | Falta de recursos financeiros | Participação crescente de geração distribuída |
| Aceitação social | Custos de capacidade (incluindo transmissão) / Adoção de investimentos (em capacidade) | Falta de rentabilização | Payback |
| Acesso ao mercado / Consumidor final poder também ser produtor | Custos de geração | Flexibilidade / qualidade de Serviço / estabilidade rede / resiliência / risco técnico | na Penetração de renováveis na rede / Intensidade de carbono da rede. |
| Acesso ao serviço de energia | Custos de leitura de medidores | Flexibilidade de gestão | Potencial para transformação de mercado |
| Alinhamento com as capacidades dos agentes | Custos de suporte | Fomentar mobilidade elétrica | Privacização |
| Aplanar diagrama de cargas | Custos operacionais | Fomentar renováveis | Proteção da privacização |
| Aplicação de tarifas diferenciadas ao longo do dia e o registro de perdas de consumo | Custos para o consumidor / Poupanças (energia e tarifas) / Modicidade tarifária | Formação RH / Formar quadros e I&D | Proteger companhias |
| Atender o crescimento da demanda | Seleção mais rápida de perdas técnicas, redução de fraudes e furtos | Grau de envolvimento | Quota de mercado |
| Aumento de competição | Difusão tecnológica / Desenvolver know-how nacional | Imagem pública / Responsabilidade social das empresas / Coligações sociais | Redução dos picos de consumo |
| Autoeficiência energética, independência energética | Disponibilidade de assistência técnica | Impacte na saúde | Reduzir congestionamentos e as perdas nas redes de transmissão e distribuição |
| Balança comercial, importações de energia | Disponibilidade de recursos humanos qualificados | Impacte no orçamento | Remuneração atrativa |
| Barreiras burocráticas / Barreiras no acesso à rede / Oportunidade de participação | Eficiência da adoção de recursos, otimizando os mercados / Eficiência dos mercados / Eficiência e eficácia da infraestrutura das redes | Impacte tarifas | Risco de investimento |
| Bem-estar / Conforto | Eficiência energética no consumo final de electricidade | Impacte visual | Satisfação da procura |
| Benefício económico | Emissões CO2 / Alterações climáticas / Emissões NOx / Emissões PM / Emissões SOx | Impostos | Saúde humana |
| Benefícios fiscais | Emprego / Empregos qualificade | Informação e apoio à tomada de decisão, papel positivo dos stakeholders | Segurança abastecimento |
| Biodiversidade / Espécies ameaçadas / Habitats | Equipade | Integrar renováveis de natureza intermitente e armazenamento | Sobrecarga de informação |
| Capacidade de adaptação e reação do sistema | Estimular atividade económica / novos negócios baseados em serviços de valor acrescentado | Investimento em tecnologia | Sustentabilidade do negócio tradicional |
| Ciber-risco / Fraude / Crime / Segurança nacional | Estimular concorrência | Mais informação / Melhor informação | Tempo necessário para produzir efeitos |
| Colapso/distensões da rede. | Estimular inovação | Mercado mais eficiente | Uso de outros recursos (Água, terra, ou outros) |
| Compatibilidade com status quo | Executar remotamente operações de gestão | Minimização dos riscos do mercado de electricidade | Uso eficiente de capacidade instalada. |
| Complexidade de gestão | Expandir potencia | Mobilizar rede | Utilização de combustíveis fósseis |
| Conscientização do consumidor / consumo de energia | Facilidade de manutenção dos equipamentos | Mortalidade animal | Valor das propriedades |
| Contribuir para o monitoramento da rede | Facilitação legislativa | Mortalidade por acidentes | Vendas energia |
| Contribuição para economia nacional | Facilitar a operação e gestão dos eletrónicómetros | Número de participantes | Vendas serviços |
| Criação de desigualdades | Falhas de compromisso. | Participação alta de consumidores e microprodutores | Viabilidade económica |

Fonte: Elaboração Própria (2016).

As categorias geradas associam-se a propósitos fundamentais para a inovação tecnológica no setor elétrico. São, pois, o ponto de partida para o que Parnell *et al.* (2013) designam por hierarquias de valor funcional, uma combinação entre as hierarquias funcionais da engenharia de sistemas e as hierarquias de valor da análise de decisão. Seguindo as orientações dos mesmos autores, privilegiam-se objetivos-fim em detrimento de objetivos-meio, privilegiam-se expressões que sejam familiares aos atores (neste caso, os atores envolvidos no sistema elétrico), e formulam-se os objetivos fundamentais através de estruturas *verbo+objeto* para uma leitura mais clara.

Elenca-se seguidamente o resultado desta análise a um nível geral, sem particularizar os interesses de cada *stakeholder*. A ordem pela qual os objetivos são apresentados não implica qualquer julgamento sobre a sua relevância.

Objetivo 1: Beneficiar o ambiente e a saúde humana

Um dos aspetos mais frequentemente citados na conversação sobre inovação tecnológica no setor elétrico é a redução da dependência de combustíveis fósseis e a sua progressiva substituição por energias renováveis. Trata-se, porém, de um objetivo-meio, i.e. utilizar menos energias fósseis não é um valor em si mesmo. A substituição de energias fósseis por renováveis visa primordialmente um objetivo fundamental que é a mitigação de emissões de gases de efeito de estufa ou, de forma mais abrangente, visa beneficiar o meio ambiente. Havendo também menções a outros impactos na vida animal e na saúde humana, optou-se por definir de forma ainda mais abrangente este objetivo. Este objetivo congrega, entre vários outros, elementos como as emissões evitadas por via da eficiência energética e pela incorporação de renováveis no *mix* de geração, o fomento da mobilidade elétrica, o impacto na saúde e na mortalidade humana e de outras espécies, o uso dos solos e uso de água.

Objetivo 2: Aumentar flexibilidade e capacidades da infraestrutura tecnológica do sistema elétrico

A inovação tecnológica no setor elétrico, em particular com o desenvolvimento de *smart grids*, é vista como uma oportunidade para modernizar um sistema elétrico a carecer de renovação, bem como para dotar o sistema elétrico de capacidades técnicas para melhorar e tornar mais flexível o seu funcionamento (em termos de rede e de carga). Pode-se debater se este será um objetivo-meio ou um objetivo-fim. Como finalidade última, um sistema elétrico com uma infraestrutura mais moderna e capaz contribui para múltiplos propósitos (menores custos, melhor qualidade de serviço, melhor ambiente, etc.). Porém, o desenvolvimento deste capital pode igualmente ser visto como um desígnio político em si próprio, face ao conjunto de elementos que lhe estão associados

e à impossibilidade de refletir de forma direta o impacto deste objetivo nas inúmeras finalidades que pode promover para os diferentes *stakeholders*. Este objetivo congrega, entre vários outros, elementos como a redução das pontas de consumo, a capacidade de adaptação e reação do sistema, o monitoramento da rede, a flexibilidade de gestão, o permitir uma participação crescente de geração distribuída com base em fontes intermitentes, e a redução de perdas.

Objetivo 3: Assegurar segurança do abastecimento

Outro desiderato que se procura com a modernização do sistema elétrico prende-se com a capacidade de assegurar que a demanda é satisfeita com baixos riscos de perturbação, seja por riscos técnicos (confiabilidade), seja por riscos políticos (dependência do exterior). Note-se que os objetivos 2 e 3 poderiam ser juntos, em uma formulação ainda mais abrangente. Contudo, a diferente natureza da preocupação relativa ao risco, aconselha uma explicitação desta vertente, tal como é frequentemente realizado em avaliações multicritério *benefits / costs / risks*. Este objetivo congrega elementos como a auto-suficiência energética, o ciber-risco, a qualidade de serviço e a segurança do abastecimento.

Objetivo 4: Assegurar abertura, equidade, transparência e eficiência dos mercados de energia elétrica

A inovação tecnológica é também vista como uma oportunidade para transformar os mercados de energia elétrica, correspondendo aos anseios do Regulador, das empresas mais competitivas e dos consumidores. Almeja-se alcançar um mercado mais aberto, eficiente e transparente, que possa beneficiar de uma sã concorrência entre fornecedores de energia e de serviços, e que ao mesmo tempo assegure a equidade e igualdade de oportunidades entre os diferentes agentes. Este objetivo congrega, entre outros, elementos como o acesso ao serviço de energia, o acesso ao mercado, o acesso às redes, o aumento de concorrência, a informação e apoio à tomada de decisão, e o uso eficiente de capacidade instalada.

Objetivo 5: Proporcionar benefício financeiro para os agentes envolvidos

O benefício financeiro é um aspeto omnipresente para estimular o envolvimento de agentes econômicos. O objetivo de proporcionar benefício financeiro traduz a necessidade de tornar o investimento em inovação tecnológica interessante para os agentes envolvidos, pois sem esse interesse dificilmente aceitarão essas inovações. O benefício financeiro para os agentes compreende receitas (incluindo receitas recuperadas de perdas por fraude), custos (de investimento, operacionais, etc.), subsídios e taxas, no presente e no futuro, incluindo preocupações com modicidade tarifária (tarifas e eficiência energética).

Objetivo 6: Proporcionar benefício econômico e social para o país

Também de natureza econômica, mas de teor diferente do objetivo anterior e abarcando também preocupações sociais, encontra-se o interesse em que o desenvolvimento tecnológico possa contribuir para beneficiar o país que o promove. Trata-se de um objetivo sobretudo para o decisor político, mas que potencialmente beneficia todos os agentes de forma indireta. Este objetivo congrega assuntos como a contribuição para economia nacional e o emprego, o estímulo a novos negócios baseados em serviços de valor acrescentado, a formação de recursos humanos e a liderança tecnológica.

Objetivo 7: Assegurar exequibilidade e fomentar adoção das inovações tecnológicas

Por muitos benefícios que uma inovação tecnológica possa potencialmente trazer, estes de nada valerão se a inovação não for adotada por aqueles a quem se destina. Mesmo que estejam assegurados benefícios de ordem ambiental, financeira e técnica, poderão subsistir barreiras que dificultem ou impeçam o sucesso dos projetos. Este objetivo compreende todos os fatores de natureza social e operacional que poderão constituir uma barreira às inovações propostas, incluindo barreiras legislativas, investimento inicial, preocupações de privacidade, disponibilidade de recursos humanos qualificados, qualidade das telecomunicações e outros serviços de suporte, etc.

Note-se que alguns dos elementos considerados contribuem para objetivos distintos, embora sob diferentes facetas. Por exemplo, a eficiência energética no consumo final de eletricidade tem a vertente de evitar emissões (contemplada no Objetivo 1) e a vertente de potencialmente evitar custos ao consumidor (Objetivo 5). Outra opção poderia ser considerar esta preocupação como um novo objetivo de alto nível, caso se deseje enfatizar a relevância deste objetivo para a política nacional. Tal opção, contudo, implicaria particular atenção para evitar dupla contagem dos benefícios nos objetivos 1 e 5.

A Figura 4 resume os objetivos fundamentais acima elencados, que serão depois decompostos nos sub-objetivos mais relevantes para cada *stakeholder*. A Figura 5 apresenta a decomposição dos objetivos fundamentais em sub-objetivos, identificando os grupos interessados em cada um dos mesmos. A lista de itens identificada inicialmente para cada objetivo foi seguida para assegurar que nenhum aspeto essencial foi omitido.

Figura 4 - Objetivos fundamentais para a promoção de políticas e ações de incentivo às inovações tecnológicas no setor elétrico (a ordem dos objetivos é arbitrária).

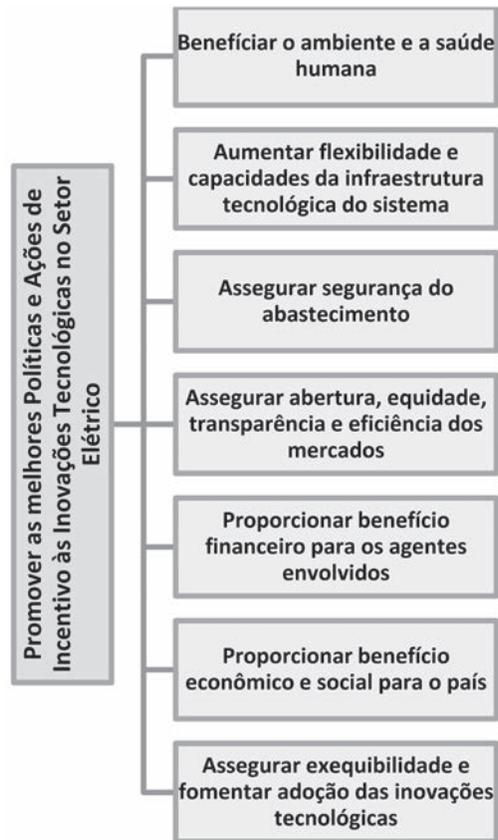


Figura 5 – Árvore de objetivos identificando os grupos *stakeholders* interessados:
 a) Governo e regulador, b) Consumidores e sociedade civil, c) Distribuidor / comercializador de energia, d) Produtor de energia, e) Operador de sistema, f) Fornecedores de equipamentos e/ou serviços, g) Sistema científico e tecnológico, h) sistema financeiro, *) Sem prejuízo de ser relevante para outros.

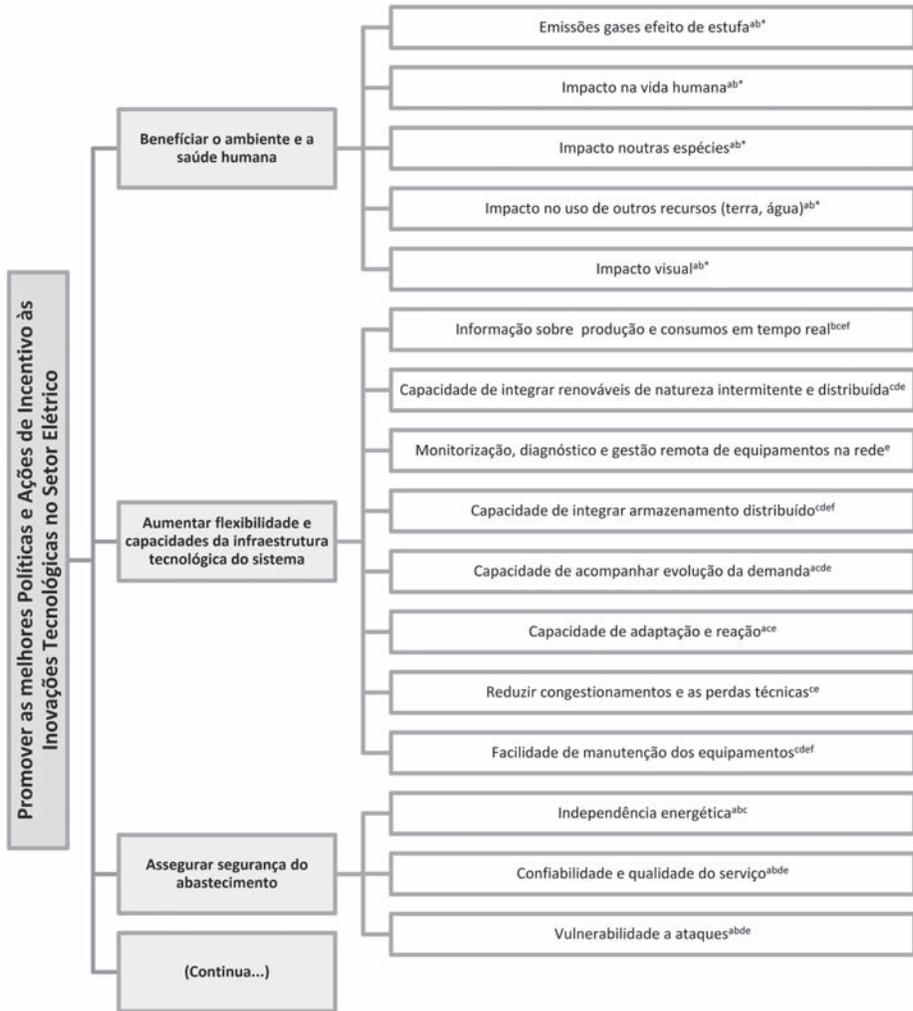
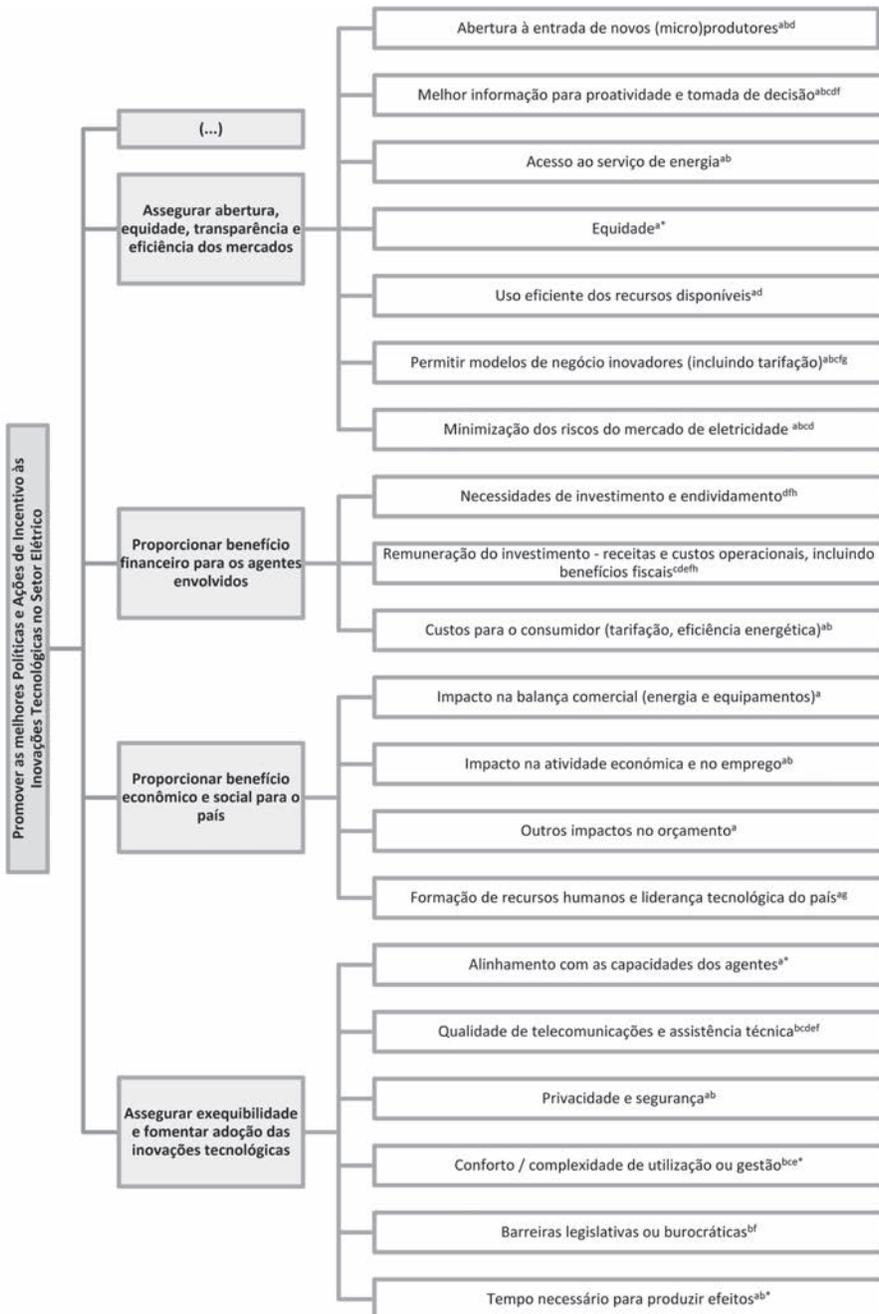


Figura 5 (Cont.) – Árvore de objetivos identificando os grupos *stakeholders* interessados.



Conclusão

A utilização da *Soft Systems Methodology* permitiu identificar atores relevantes no setor elétrico e, através de quatro perspectivas distintas, conduziu a uma “nuvem” de uma centena de aspetos que estes atores poderão ter em conta na avaliação de ações e políticas de incentivo à inovação tecnológica. Identificada essa nuvem dispersa de assuntos inicialmente elencados como potenciais preocupações e critérios para a avaliação, foi necessário realizar a sua estruturação agrupando aspetos, eliminando redundâncias e separando objetivos-meio de objetivos-fim. A categorização destes assuntos permitiu propor uma lista de sete objetivos fundamentais alinhados com prioridades estabelecidas para a inovação tecnológica no setor elétrico. Desta abordagem *bottom-up* partiu-se para uma abordagem *top-down* visando decompor de forma organizada cada objetivo em sub-objetivos, tendo em conta os assuntos associados a cada um deles.

O trabalho desenvolvido constitui uma base essencial para a construção de um modelo de avaliação, no qual as ações a estudar serão avaliadas considerando separadamente cada um dos objetivos do nível superior da hierarquia, procedendo-se posteriormente a uma agregação multicritério por forma a obter uma recomendação de síntese.

Referências Bibliográficas

BANA E COSTA, C.A. *Structuration, construction et exploitation d'un modèle multicritère d'aide à la décision*, Dissertação de Doutoramento em Engenharia de Sistemas, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 1992.

BANA e COSTA, C.A., BEINAT, E. *Estruturação de Modelos de Análise Multicritério de Problemas de Decisão Pública*. Artigo de Investigação, 3/2010, Centro de Estudos de gestão, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2010.

BELTON, V., ACKERMAN, F., SHEPHERD, I. *Integrated support from problem structuring through to Alternative Evaluation using COPE and V.I.S.A.* Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, 6 (1997): 115–130.

BENNETT, P., BRYANT, J., HOWARD, N. *Drama theory and confrontation analysis*. In: J. Rosenhead and J. Mingers (Eds.), *Rational Analysis for a Problematic World Revisited: Problem Structuring Methods for Complexity*, 2nd ed., Wiley, (2001): 225–248.

BOND, S. D., CARLSON, K. A., KEENEY, R. L. *Generating objectives: Can decision makers articulate what they want?* Management Science, 54: 1 (2008) 56–70.

BOND, S. D., CARLSON, K. A., KEENEY, R. L. Improving the Generation of Decision Objectives, *Decision Analysis*, 7: 3 (2010): 238-255.

BOUYSSOU, D. *Décision multicritère ou aide multicritère?*. Bulletin du Groupe de Travail Européen «Aide Multicritère à la Décision», Série 2, No. 2, Printemps, 1993.

BRUCKER, K. DE, MACHARIS, C., VERBEKE, A. *Multi-Criteria Analysis and the Resolution of Sustainable Development Dilemmas: A Stakeholder Management Approach*. *European Journal of Operational Research* 224:1 (2013): 122–131.

CHECKLAND, P. *Systems Thinking Systems Practice*. Wiley, 1981.

CHECKLAND, P. *Soft systems methodology*. In: J. Rosenhead and J. Mingers (Eds.), *Rational Analysis for a Problematic World Revisited: Problem Structuring Methods for Complexity*, 2nd ed., Wiley, (2001): 61–89.

CHECKLAND, P., POULTER, J. *Learning for Action. A short Definitive Account of Soft Systems Methodology and its use for practitioners, Teachers and Students*, Wiley, 2006.

CHECKLAND, P., SCHOLLES, J. *Soft Systems Methodology in Action*. Wiley, 1990.

CHECKLAND, P., TSOUVALIS, C. *Reflecting on SSM: the link between root definitions and conceptual models*. *Systems Research and Behavioral Science* 17 (1997): 153–168.

COELHO, D., ANTUNES, C. H., MARTINS, A. G. *Using SSM for structuring decision support in urban energy planning*. *Technological and Economic Development of Economy* 16:4, (2010): 641–653.

DIAKOULAKI, D., ANTUNES, C. H., MARTINS, A. G. *MCDA and Energy Planning*. In J. Figueira, S. Greco and M. Ehrogott (Eds.). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer, (2006): 859–890.

DIAS, L. C. *A informação imprecisa e os modelos multicritério de apoio à decisão: Identificação e uso de conclusões robustas*. Dissertação de Doutoramento em Organização e Gestão de Empresas, Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, (2000).

DIAS, L.C., MOUSSEAU, V. *IRIS: A DSS for Multiple Criteria Sorting Problems*. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 12: 4-5 (2003): 285–298.

DIAS, L.C., SARABANDO, P. *A note on a group preference axiomatization with cardinal utility*. *Decision Analysis* 9: 3 (2012): 231-237.

DIAS, L.C., SILVA, S., ALÇADA-ALMEIDA, L. *Multi-criteria environmental sustainability assessment with an additive model*. In: Matthias Ruth (ed.) *Handbook on Methods and Applications in Environmental Studies*, Northampton, MA: Edward Elgar (2015), 450-472.

EDEN, C., ACKERMANN, F. *SODA – the principles*. In: J. Rosenhead and J. Mingers (Eds.), *Rational Analysis for a Problematic World Revisited: Problem Structuring Methods for Complexity*, 2nd ed., Wiley, (2001): 21–41.

EDQUIST, C. *The Systems of Innovation Approach and Innovation Policy: An account of the state of the art*. Lead paper presented at the DRUID Conference, Aalborg, June 12-15, 2001. Disponível em: <<http://www.tema.liu.se/tema-t/sirp/chaed.htm>>. Acesso em: 10/03/2015.

EHRGOTT, M., T. J. STEWART (ed.) *Multiple Criteria Decision Making for Sustainable Energy and Transportation Systems*. Springer, 2010.

FIGUEIRA, J., MOUSSEAU, V., ROY, B. *Electre Methods*. In J. Figueira, S. Greco, M. Ehrgott (eds), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer, (2005): 133–153.

FRIEND, J. *The strategic choice approach*. In: J. Rosenhead and J. Mingers (Eds.), *Rational Analysis for a Problematic World Revisited: Problem Structuring Methods for Complexity*, 2nd ed., Wiley, (2001): 115–149.

HUANG, I. B., KEISLER, J., LINKOV, I. *Multi-Criteria Decision Analysis in Environmental Sciences: Ten Years of Applications and Trends*. *The Science of the Total Environment* 409 (19) (2011): 3578–94.

KEENEY, R. L. *Value-focused thinking*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1992.

KEENEY, R. L. *Using Preferences for Multi-Attributed Alternatives*. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 14 (2006): 169–174.

KEENEY, R. L, SICHERMAN, A. *Illustrative comparison of one utility's coal and nuclear choices*. *Operations Research* 31:1 (1983): 50–83.

LINKOV, I., MOBERG, E. *Multi-Criteria Decision Analysis: Environmental Applications and Case Studies*. CRC Press, 2012

MINGERS, J., ROSENHEAD, J. *An overview of related methods: VSM, system dynamics, and decision analysis*. In: J. Rosenhead and J. Mingers (Eds.), *Rational Analysis for a Problematic World Revisited: Problem Structuring Methods for Complexity*, 2nd ed., Wiley, (2001): 267–288.

MINGERS, J., ROSENHEAD, J. *Problem structuring methods in action*. *European Journal of Operational Research*, 152 (2004): 530–554.

NEVES, L. P., DIAS, L. C., ANTUNES, C. H., MARTINS, A. G. *Structuring an MCDA model using SSM: A case study in Energy Efficiency*. *European Journal of Operational Research*, 199:3 (2009): 834-845.

NEVES, L. P., MARTINS, A. G., ANTUNES, C. H., DIAS, L. *Using SSM to rethink the analysis of energy efficiency initiatives*. *Journal of the Operational Research Society*, 55 (2004): 968–975.

NGAI, E., CHESTER, K., CHING, K. V., CHAN, L., LEE, M., CHOI, Y.S., CHAI, P. *Development of the conceptual model of energy and utility management in textile processing: A soft systems approach*. *Int. J. Production Economics*, 135 (2012): 607–617.

PARNELL, G. S., BRESNICK, T. A., TANI, S. N., JOHNSON, E. R. *Handbook of Decision Analysis*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2013.

POHEKAR S. D., RAMACHANDRAN, M. *Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning- a review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8:4 (2004): 365–381.

ROSENHEAD, J. *Rational Analysis for a Problematic World*. Wiley, 1989.

ROSENHEAD, J. *What's the problem. An introduction to problem structuring methods*. *Interfaces*, 26:6 (1996): 117–131.

ROSENHEAD, J. *Robustness analysis: Keeping your options open*. In: J. Rosenhead and J. Mingers (Eds.), *Rational Analysis for a Problematic World Revisited: Problem Structuring Methods for Complexity*, 2nd ed., Wiley, (2001): 181–207.

ROY, B. *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. Economica, Paris, 1985.

ROY, B., BOUYSSOU, D. *Aide multicritère à la décision: méthodes et cas*. Economica, Paris, 1993.

SCHÄRLIG, A. *Décider sur plusieurs critères*, Collection Diriger l'Entreprise 1, Presses Polytechniques Romandes, Lausanne, 1985.

TSOUKIÀS, A. *Da Teoria da Decisão à Metodologia de Ajuda à Decisão*. In C. H. Antunes e L. C. Dias (Coord). *Decisão. Perspectivas interdisciplinares*. Imprensa da Universidade de Coimbra, (2007): 95-149.

VON WINTERFELDT, D., FASOLO, B. *Structuring decision problems: A case study and reflections for practitioners*. European Journal of Operational Research, 199 (2009): 857–86.

WANG, J.-J., JING, Y.-Y., ZHANG, C.-F., ZHAO, J.-H. *Review on Multi-Criteria Decision Analysis Aid in Sustainable Energy*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009): 2263–2278.

YOON, K., HWANG C.-L. *Multiple Attribute Decision Making: An Introduction*. Thousand Oaks (CA): Sage Publications, 1995.

6

Desenvolvimento de Redes Inteligentes no Brasil: abordagem a partir da Perspectiva Multinível

Nivalde J. de Castro, Guilherme de A. Dantas, Roberto Brandão,
Caetano Penna, Lucca Zamboni

Resumo

O objetivo deste capítulo é examinar o *status quo* das redes inteligentes no Brasil, considerando motivações e desafios, e a proposição de políticas públicas que possibilitem a efetiva implementação de redes inteligentes. Inicialmente, é feita uma revisão teórica, onde são apresentados elementos que permitem enquadrar a emergência das redes inteligentes como uma Transição Tecnológica do setor elétrico, além de justificar a opção pelo uso da abordagem da Perspectiva Multinível. Posteriormente, o texto se dedica à discussão da necessidade de elaboração de políticas públicas para que ocorram inovações no setor elétrico. Na sequência, é aplicada a metodologia da Perspectiva Multinível no exame das redes inteligentes no Brasil. Por fim, a última seção do capítulo descreve algumas políticas públicas que podem vir a contribuir com a implementação de redes inteligentes, sendo especialmente relevantes aquelas que versam acerca da regulação.

Introdução

O desenvolvimento de redes elétricas inteligentes é o elemento central do processo de mudança do paradigma tecnológico dos sistemas elétricos. Contudo, as motivações e desafios para a implementação destas redes variam em função de especificidades de cada localidade. Desta forma, o exame das perspectivas de desenvolvimento de redes inteligentes requer o conhecimento, não apenas das características do setor elétrico, como também de variáveis sociais, econômicas e ambientais.

Além disso, ressalta-se que as características técnicas e econômicas intrínsecas ao setor elétrico não induzem que o processo de inovações ocorra de forma endógena à dinâmica do sistema. Observa-se assim a necessidade da adoção de políticas públicas, sobretudo no escopo das diretrizes regulatórias para o desenvolvimento de redes inteligentes.

Neste sentido, destaca-se que o caso brasileiro é bastante representativo porque se trata de um país em vias de desenvolvimento em que a taxa de crescimento da demanda por energia elétrica no horizonte de médio/longo prazo tende a ser expressiva. O sistema elétrico Brasileiro apresenta predominância de fontes renováveis, baixa qualidade do fornecimento e algumas concessionárias de distribuição possuem elevado nível de perdas não técnicas em função do furto de energia. Apesar de existirem projetos pilotos, inexistente uma efetiva implementação de redes inteligentes no Brasil. Logo, é pertinente analisar as condicionantes deste desenvolvimento, especialmente com vistas a identificar entraves e formular políticas capazes de superar esses desafios.

Para lidar com o processo de Transição Tecnológica, a metodologia da Perspectiva Multinível consiste em uma razoável alternativa, pois tal processo não está restrito ao escopo estritamente tecnológico. Em linhas gerais, esta abordagem considera que a dinâmica das variáveis sociais, econômicas e ambientais podem desestabilizar o sistema tecnológico vigente e, por consequência, criar oportunidades para a difusão de inovações surgidas em nichos específicos. Portanto, justifica-se a análise das redes inteligentes no Brasil com base nesta metodologia.

Em suma, o objetivo deste capítulo é examinar o *status quo* das redes inteligentes no Brasil, considerando motivações e desafios, e a proposição de políticas públicas que possibilitem a efetiva implementação de redes inteligentes. O capítulo está dividido em quatro seções. Inicialmente, é feita uma revisão teórica e são apresentados elementos que permitem enquadrar-se a emergência das redes inteligentes como uma Transição Tecnológica do setor elétrico. Nesta seção, justifica-se a opção pelo uso da abordagem da Perspectiva Multinível. Por sua vez, a segunda parte do capítulo é dedicada à discussão da necessidade de elaboração de políticas públicas para que ocorram inovações no setor elétrico. Na sequência, é aplicada a metodologia da Perspectiva Multinível no exame das redes inteligentes no Brasil. Por fim, a última seção do capítulo descreve algumas políticas públicas que podem vir a contribuir com a implementação de redes inteligentes, sendo especialmente relevantes aquelas que versam acerca da regulação.

6.1 – A Transição Tecnológica do Setor Elétrico

O progresso técnico e o desenvolvimento socioeconômico possuem no processo de inovações um elemento central, sendo este processo essencial na promoção do desenvolvimento sustentável (FREEMAN; SOETE, 2008). Explica-se: considerando que o setor energético responde por mais de 60% das emissões mundiais de gases do efeito estufa e apresenta relevantes impactos ambientais

de ordem local, é notório que a busca pelo desenvolvimento sustentável, sobretudo a promoção de uma economia de baixo carbono, passa pela mudança do paradigma do setor energético. Em especial, o setor elétrico terá um papel central nesta dinâmica, vide que muitas das medidas de eficiência energética passam por um maior uso de energia elétrica e se trata de um setor onde é mais fácil a difusão de fontes não-fósseis de energia, em contraste, por exemplo, com o setor de transportes (UNEP, 2014; IEA, 2014; IPCC, 2014).

Desde o surgimento da indústria elétrica, o paradigma tecnológico do setor elétrico pouco foi alterado: geração centralizada distante dos centros de carga, sendo a energia elétrica transmitida por extensas linhas de transmissão e posteriormente distribuída por linhas de baixa tensão. Em síntese, trata-se de uma estrutura integrada com fluxos de energia unidirecionais onde prevalece o padrão “geração segue a carga”, sendo possível prever estas cargas através de ferramental estocástico.

Entretanto, as redes convencionais não serão adequadas para atender as demandas do sistema elétrico em um futuro próximo, pois existe a tendência do mesmo tornar-se mais distribuído e com fluxos bidirecionais de energia (LUTHRA *et al.*, 2014). Por exemplo, em anos recentes, nota-se a disseminação da geração distribuída a partir de fontes renováveis e intermitentes, e, em alguns casos, os agentes consumidores são também produtores.

Concomitantemente, é crescente a importância de medidas de gerenciamento de energia do lado da demanda. Além disso, vislumbra-se a possibilidade de futuramente ser difundida a tecnologia de armazenamento de energia. Não obstante, as perspectivas de participação crescente de veículos elétricos na frota de veículos leves impõem ao sistema o desafio de abastecê-los de forma adequada e, futuramente, de lidar com a tecnologia *vehicle to grid*, que permite a exportação para a rede de distribuição de energia armazenada nas baterias de veículos elétricos. Desta forma, a presença de uma rede automatizada e de medidores inteligentes é fundamental para lidar com o paradigma tecnológico emergente, incluindo também a disponibilidade para os usuários finais de medidas de *demand response*, através das quais o uso de aparelhos elétricos pode ser modulado de forma automática em função e da cotação da energia de cada momento, e a viabilização do *smart home*, isto é, da automação doméstica (IEA, 2011; GIORDANO; FULLI, 2012).

Observa-se assim a pertinência da utilização de redes incorporando tecnologias da informação e comunicação com vistas a não somente lidar com os desafios prospectados, como também para incitar a própria transformação do setor elétrico e a emergência de um paradigma no qual a carga passa a “seguir” a geração. Em linhas gerais, trata-se de redes inteligentes capazes de monitorar e gerenciar os fluxos de energia elétrica, tanto ao nível da empresa de utilidade pública como também na interação com redes dos consumidores.

Além de criar condições para a difusão de novas tecnologias e medidas comportamentais no setor elétrico, cabe ressaltar que as redes inteligentes podem contribuir para mitigar tradicionais problemas do setor elétrico. Neste sentido, destaca-se que a possibilidade de identificação e redução das perdas, sobretudo as não técnicas, o que consiste em um importante *driver* para investimentos em *smart grids* em regiões onde os níveis de furto de energia e/ou inadimplência forem elevados.

O desenvolvimento de redes inteligentes é complexo e traz consigo a necessidade de um esforço analítico interdisciplinar, que deve contemplar desde a emergência da nova tecnologia até a sua difusão, passando pela difícil fase de formação de mercado. Por outro lado, o processo se dá em paralelo à desestabilização e declínio de tecnologias incumbentes e seus mercados. Logo, é plausível o uso do arcabouço analítico da Transição Tecnológica na análise das *smart grids*. Esta abordagem possibilita a identificação de um conjunto de desafios para os *policy makers*. A rigor, o arcabouço se interessa não pelo potencial de uma tecnologia em si, mas como esse potencial pode ser materializado e realizado, transformando efetivamente o setor elétrico (JACOBSSON; BERGEK, 2004).

As seguintes características permitem analisar o desenvolvimento das redes inteligentes como um processo de Transição Tecnológica:

- i. As tecnologias associadas às redes inteligentes podem ser analisadas como um sistema tecnológico emergente, pois desafiam as tecnologias incumbentes;
- ii. A literatura internacional a respeito das redes inteligentes reconhece que se trata de um processo de longo prazo, com vários países adotando metas de implementação plena por volta do ano de 2030. É, portanto, perceptível o caráter lento desta implementação;
- iii. Já existem redes e coalizões de interesse em torno das tecnologias das redes inteligentes;
- iv. Os casos de sucesso iminente em relação aos projetos de redes inteligentes são fortemente associados ao arcabouço institucional criado para desenvolver e difundir a tecnologia.

Embora os Sistemas Tecnológicos consistam em uma abordagem bastante consistente para o exame da interação entre atores, redes e instituições no escopo da dinâmica das inovações, é importante enfatizar que esta abordagem não apresenta uma distinção nítida entre inovações incrementais e inovações radicais. Desta forma, existe uma relativa limitação desse arcabouço teórico para lidar com transições tecnológicas, ou seja, a mudança de um sistema para outro (MARKARD; TRUFFER, 2008).

Dado que a Transição Tecnológica é a mudança de maior dimensão em um sistema, é perceptível que a mesma não está restrita à esfera tecnológica e é preciso considerar a presença do aprisionamento tecnológico em torno do sistema existente, sendo este efeito *lock in* derivado, não apenas das vantagens e/ou interesses econômicos das firmas estabelecidas com base no paradigma tecnológico vigente¹, como de todas as tecnologias correlatas, infraestrutura construída, arranjos organizacionais, normas estabelecidas e preferências dos consumidores (GEELS, 2005).

Em síntese, as raízes do *lock in* transcendem a cadeia produtiva da indústria onde a tecnologia é utilizada e o exame da Transição Tecnológica não pode estar restrito à comparação entre tecnologias alternativas, pois nada garante que uma tecnologia comprovadamente superior irá conseguir se estabelecer. Desta forma, o *lock out* que viabiliza a Transição Tecnológica, necessariamente passa pela consideração de variáveis econômicas, organizacionais, institucionais e culturais. Dentre as possibilidades que podem desencadear o *lock out*, destacam-se uma eventual crise no sistema tecnológico vigente, adoção de novas diretrizes regulatórias, uma ruptura tecnológica, mudanças nas preferências dos consumidores, existência de nichos de mercado, e os resultados da pesquisa científica (COWAN; HÚLTEN, 1996).

Em anos recentes, a abordagem da Perspectiva Multinível vem ganhando espaço como uma metodologia explicativa da dinâmica da Transição Tecnológica com base nos conceitos de regimes sócio-tecnológicos, nichos e “paisagens” (GEELS, 2005). De forma sucinta, este arcabouço teórico considera que a Transição Tecnológica é um processo não linear que ocorre em função da interação entre as mudanças verificadas no micro-nível dos nichos e no meso-nível dos regimes sócio tecnológicos, sendo estes níveis partes integrantes de um nível mais macro denominado “paisagem”. Nota-se que esta abordagem é relevante para a proposição de políticas e definição de estratégias empresariais (MARKARD; TRUFFER, 2008).

Ao estabelecer esta ordenação, tal abordagem possibilita trabalhar com os diferentes níveis de estabilidade do sistema. Neste sentido, nota-se que o regime sócio-tecnológico é aquele caracterizado pela estabilidade onde os atores² reproduzem e mantêm de forma coordenada o sistema existente. As inovações

1 O *lock in* tecnológico está diretamente associado a *path dependence* (ARTHUR, 1989; DAVID, 1994; UNRUH, 2000). Explica-se: em um momento inicial onde várias tecnologias competem, uma delas apresenta alguma vantagem que a torna prevalectante sobre as demais. A partir deste momento, esta tecnologia passa pelo processo de *learning by doing*, apresenta *knowledge spillovers* e ganhos de escala e, por consequência, apresenta expressivos decréscimos de custos e isto reforça sua posição dominante.

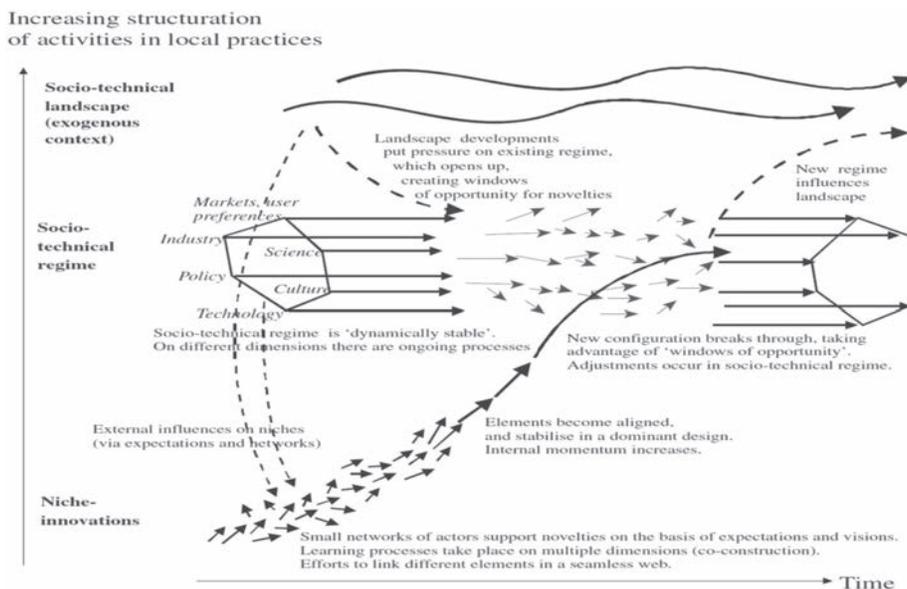
2 Cabe destacar que regimes sócio-tecnológicos englobam, não apenas as firmas, como também usuários, formuladores de políticas, grupos de interesse e atores da sociedade civil em geral (GEELS, 2012).

tendem a ter um caráter incremental, pois a presença de mecanismos de *lock in* e a *path dependence* conduzem a mudanças direcionadas pela tecnologia estabelecida. Observa-se assim que é no nível dos nichos que as inovações de caráter disruptivo se processam e alteram o regime vigente. Em linhas gerais, nichos são espaços protegidos (segmentos do mercado onde a demanda apresenta características específicas, projetos de demonstração, laboratórios de pesquisa e desenvolvimento, etc.) em que seus atores buscam o desenvolvimento de novidades promissoras, que possam ser incorporadas ao regime, ou até mesmo, substituí-lo. No âmbito dos nichos, ocorre processo de aprendizado acerca da nova tecnologia³, um alinhamento nas expectativas inerentes à inovação e à construção de uma rede, incluindo o envolvimento de mais atores, que possibilita a expansão destes nichos. Por último, sobrepondo-se aos regimes e nichos, existe a “paisagem” sócio-tecnológica que é o nível mais abrangente, que se caracteriza por ser exógena e por influenciar a dinâmica dos outros níveis. Ela pode ser vista como o contexto em que interagem os atores (GEELS, 2012). Eventos de longa duração – como mudanças demográficas – ou aqueles sobre o qual os atores dos nichos ou regime não possuem poder de influenciar – como guerras – pertencem ao nível da paisagem sócio-técnica. Nichos, regime e paisagem apresentam, portanto, temporalidades e estruturas distintas: nos nichos o nível de estruturação (institucionalidade) é baixo e o ritmo de mudanças, rápido; já no regime, o grau de institucionalização é mais elevado e de mudanças, mais lento; no nível da paisagem, há alto grau de institucionalização e ritmo lentíssimo de mudanças. Neste sentido, o efeito *lock in* e de *path dependence* é mais forte nos níveis superiores do que nos nichos.

Estas diferentes dimensões interagem em uma dinâmica onde inovações surgem nos nichos enquanto que a “paisagem” modifica-se, ambos pressionando o regime sócio-tecnológico existente, o qual ao ser desestabilizado cria oportunidades para a difusão das inovações originadas nos nichos. Neste sentido, é notório que a Perspectiva Multinível considera que inexistente uma relação causal direta e unidirecional no processo de transição. De acordo com esta abordagem, o que existe são processos inter-relacionados em diferentes níveis e dimensões que acabam por reforçarem-se e, por consequência, é possível cunhar o termo “causalidade circular”. A Figura 1 a seguir busca ilustrar a dinâmica interativa entre os diferentes níveis desta abordagem.

3 O processo de aprendizado inclui desde a superação de desafios técnicos até o maior conhecimento da demanda e da infraestrutura necessária.

Figura 1 – Transição Tecnológica sob a ótica da abordagem da Perspectiva Multinível



Fonte: GEELS (2012).

Em linha com esta abordagem mais ampla, ressalta-se que o arcabouço teórico da Perspectiva Multinível vem sendo aplicado com alguma frequência à discussão do setor energético. Considerando a importância do efeito *lock in* nesta indústria e pressão gerada por outras esferas socioeconômicas no setor⁴, nota-se a pertinência desta aplicação. Como ilustração, Solomon e Krishna (2011) ressaltam a importância desta metodologia para examinar processos de transição energética global⁵; Strunz (2014) a utiliza para analisar a transição energética alemã; e Mah *et al.* (2012) abordam o desenvolvimento de *smart grid* na Coreia do Sul.

No entanto, para que este tipo de análise seja possível, um pré-requisito é considerar algumas especificidades intrínsecas ao setor elétrico. Não obstante

4 O setor energético apresenta transversalidade pelas diferentes esferas socioeconômicas e é um vetor central no processo de desenvolvimento. Em contrapartida, extrai recursos da natureza e a produção e o uso de energia resultam em impactos ambientais. Observa-se assim que questões como o preço dos insumos energéticos, restrições ambientais, dentre outras, são elementos da “paisagem” que influenciam a dinâmica do setor energético e podem criar condições necessárias a difusão de inovações tecnológicas disruptivas.

5 Tal transição está relacionada na necessidade de prover o sistema energético de maior eficiência e de um maior uso de fontes renováveis de energia em linhas com a promoção de uma economia de baixo carbono.

ser um setor essencial para o desenvolvimento das atividades socioeconômicas contemporâneas e que exige equilíbrio instantâneo entre oferta e demanda, algumas características econômicas precisam ser ressaltadas: indústria capital intensiva com produto homogêneo; demanda inelástica; tarifas reguladas em função da existência de monopólios naturais (PINTO JUNIOR *et al.*, 2007). Observa-se assim que estas condições não favorecem a ocorrência de processos de inovação de forma endógena à dinâmica do setor. Explica-se: o objetivo da firma em inovar é obter um processo ou produto que a possibilite obter lucros extraordinários por um determinado período de tempo (NELSON, 2006). Dado o caráter de bem homogêneo da eletricidade, são limitadas as possibilidades de diferenciação do produto ofertado. Em contrapartida, as tecnologias sustentáveis tendem a ter inicialmente um custo superior às alternativas convencionais. Como consequência, as condições estritas de mercado não favorecem a difusão de novas tecnologias, mesmo que estas sejam mais eficientes e sustentáveis.

Deste modo, para se aplicar a Perspectiva Multinível ao setor elétrico, é preciso levar em consideração estas idiosincrasias, particularmente a pouca propensão a inovar e o fato de se tratar de uma indústria regulada. Neste cenário, o papel das políticas públicas é fundamental, pois é através delas que se pode estimular os atores do regime a investirem no desenvolvimento de novas tecnologias e na difusão de inovações radicais.

6.2 – A Importância de Políticas Públicas para Inovação no Setor Elétrico

Em situações onde existem obstáculos ao processo de inovação, é pertinente a adoção de políticas de inovação que mitiguem as deficiências existentes e, por consequência, incitem a inovação por parte dos agentes econômicos. Entretanto, não basta reconhecer a necessidade desta intervenção. É preciso conhecer as tipologias dos instrumentos de políticas públicas e as nuances destas deficiências para que efetivamente obtenha-se êxito (BORRÁS; EDQUIST, 2013).

Ressalta-se que esta intervenção por parte dos *policy makers* só deve ocorrer quando a implementação da política de inovação é justificável. Desta forma, a interação entre os diferentes grupos de interesses e agentes com os órgãos do Estado é essencial para a criação de redes e, por consequência, para a formação de uma coalização em torno da tecnologia emergente por parte dos *stakeholders* (SUNG; SONG, 2013).

Grosso modo, uma política pública visa interferir nas decisões e escolhas dos agentes com o intuito de equacionar problemas existentes (KRAFT; FURLONG, 2013). Considerando que os instrumentos de política pública consistem nas alternativas que os governos possuem para tentar promover (evitar) mudanças no sistema socioeconômico e na sua interação com o meio ambien-

te, é importante conhecer os diferentes tipos de instrumentos. Neste sentido, destaca-se a existência de instrumentos regulatórios, instrumentos de mercado e instrumentos “suaves”:

- i. **Instrumentos Regulatórios:** são mecanismos legais estabelecidos com o intuito de regular a interação social e dos mercados. Em linhas gerais, consistem em leis, normas e regimentos que estabelecem direitos, obrigações e os limites do que é permitido e do que é proibido. A eficácia destes instrumentos passa pela criação de sanções aos agentes que infringirem o arcabouço legal estabelecido, as quais podem variar desde multas até a suspensão de direitos;
- ii. **Instrumentos Econômicos e Financeiros:** estes mecanismos consistem em incentivos (desincentivos) pecuniários. Dentre as alternativas de incentivo para atividades específicas, pode-se mencionar a concessão de subsídios, garantias de empréstimos a taxa de juros subsidiadas e, no limite, a transferência de recursos financeiros. Em contrapartida, o desincentivo a determinadas atividades pode ocorrer através do aumento da alíquota de impostos, taxas, encargos e outros instrumentos do gênero. Por fim, destaca-se que estes instrumentos também podem contemplar incentivos positivos através da provisão ou garantia de compra governamental de determinados bens e serviços;
- iii. **Instrumentos “Suaves”:** caracterizam-se pela natureza voluntária e não coercitiva. Desta forma, não se trata de estabelecer obrigações e limites aos agentes nem da concessão de incentivos ou desincentivos a determinadas atividades. A base destes instrumentos é a difusão de informações e a força da persuasão. Em suma, consistem em recomendações, acordos voluntários, códigos de conduta, campanhas, selos de qualidade ou de eficiência, etc. Destaca-se que o uso de instrumentos deste tipo pode ser visto como parte de um possível processo de transformação do poder público, onde o mesmo passa a assumir uma função mais de coordenação e menos de regulação.

No caso específico de políticas de inovação, convém ressaltar que os instrumentos adotados visam estimular a inovação e, por consequência, possibilitar que os resultados oriundos desta inovação sejam atingidos. De todo modo, a classificação de tipos de instrumentos de política pública supracitada deve ser utilizada para compreensão dos instrumentos comumente usados no âmbito de políticas de inovação.

Os instrumentos regulatórios encarnam diretrizes de estímulo à inovação. A regulação de direitos intelectuais (sobretudo o regime de concessão de patentes), o delineamento das bases em que devem ocorrer a pesquisa e a educação em nível de pós-graduação em universidades e instituições de pesquisa, as regras relativas às atividades de pesquisa e desenvolvimento por parte das

firmas, o estabelecimento dos padrões de éticas e normas regulatórias relativas à dinâmica de funcionamento de determinado setor são exemplos de instrumentos regulatórios que impactam a dinâmica das inovações. Através do estabelecimento de mecanismos como estes procura-se estabelecer “regras do jogo” que incitam à inovação. Esta relação entre o arcabouço legal e inovações pode ser direta ou indireta. A relação é direta quando a norma estabelecida tem explicitamente influência nas atividades de inovação. Por exemplo, criação de leis que possibilitem universidades registrarem e comercializarem patentes. Já a relação indireta é verificada quando o estabelecimento de uma determinada norma exige o desenvolvimento de novos produtos e/ou processos. Estas regulações são conhecidas como *technology forcing policies*: políticas públicas que “forçam” a criação de novas tecnologias e a adoção de inovações⁶. Como ilustração, pode ser mencionado o estabelecimento de padrões mais restritivos de emissões de poluentes que acaba por exigir o desenvolvimento de novas tecnologias (BORRÁS; EDQUIST, 2013).

No âmbito dos instrumentos econômicos, destaca-se a concessão de recursos financeiros para universidades e instituições de pesquisa com vistas ao desenvolvimento de suas atividades, assim como, a existência de fundos com taxas competitivas para o financiamento de pesquisa básica ou aplicada, transferência tecnológica, investimentos em projetos com elevado nível de risco. Além disso, a concessão de incentivos fiscais e/ou benefícios tributários é um instrumento bastante relevante. No entanto, embora tradicionalmente os instrumentos econômicos estejam focados em desenvolver o lado da oferta, a difusão de novas tecnologias também passa pela criação de demanda. Desta forma, a implementação de instrumentos que visem criar mercado para esta nova tecnologia é fundamental para a efetiva disseminação da mesma. Logo, é notória a pertinência da criação de reservas de mercado no estágio inicial de desenvolvimento de novas tecnologias, o que pode se dar, por exemplo, através de compras públicas de inovações.

Em anos recentes, verifica-se a crescente utilização dos instrumentos “suaves”, os quais representam novas abordagens de intervenção pública no âmbito das inovações. Dentre estes instrumentos, existem desde parcerias público-privadas onde há repartição de custos, riscos e benefícios, até campanhas publicitárias que contribuem para difusão de uma nova tecnologia, códigos de conduta para instituições de pesquisa, padronizações técnicas de caráter voluntário e selos de qualidade ou de eficiência que buscam estimular mudanças no comportamento (nas preferências) do consumidor. Contudo, é importante ressaltar que estes instrumentos possuem essencialmente uma função de complementar instrumentos

6 Para um melhor entendimento sobre *technology forcing policies*, ler o Capítulo 7 deste livro.

regulatórios e/ou econômicos, ou seja, instrumentos “suaves” não são suficientes para a realização de uma política de inovação eficaz.

O Quadro 1 apresenta de forma sucinta alguns exemplos dos diferentes tipos de instrumentos de política de inovação.

Quadro 1 – Exemplos de Instrumentos de Políticas de Inovação

| | |
|--------------------------|---|
| Regulações | <ul style="list-style-type: none">• Direitos da Propriedade Intelectual• Universidades e estatutos PRO• Políticas competitivas sobre alianças em P&D• Regulações bioéticas |
| Transferências Econômica | <ul style="list-style-type: none">• Apoio “En block” para pesquisa em universidades e organizações• Financiamento competitivo para pesquisa• Isenções de impostos• Apoio para venture e seed capital |
| Instrumentos Suaves | <ul style="list-style-type: none">• Padronização voluntária• Códigos de conduta• Parcerias público-privadas• Acordos voluntários |

Fonte: Adaptado de Borrás e Edquist (2013).

Dado que a escolha dos instrumentos a serem adotados deve ser condizente com as deficiências do processo de inovação, o primeiro passo é a identificação das causas destes problemas e isso requer o conhecimento das atividades envolvidas no processo de inovação. Tais atividades variam desde a provisão e difusão de conhecimento até as relativas à formação de mercado, às mudanças no ambiente organizacional, no arcabouço institucional e na criação de serviços de apoio à inovação. Considerando a multiplicidade de opções, é plausível que as políticas de incentivo à inovação adotem mais de um instrumento. A questão é a escolha dos instrumentos adequados que deve considerar as particularidades da indústria, assim como características regionais e a aceitação social destas políticas. A Tabela 1 busca apresentar de forma sintética a relação entre atividades de um sistema de inovação e os instrumentos de políticas de inovação.

Tabela 1 – Atividades de um Sistema de Inovação e Instrumentos de Políticas de Inovação

| | | Provisão de P&D | Formação de competição | Mercados de Novos Produtos | Articulação de exigências de qualidade | Criação e mudança das organizações | Aprendizado interativo | Criação e mudança institucional | Atividades de incubação | Financiamento da inovação | Serviços de consultoria |
|------------------------------|--|-----------------|------------------------|----------------------------|--|------------------------------------|------------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Tipo do instrumento político | Direitos de propriedade intelectual | X | | X | | | | X | X | | |
| | Regulação | | | | X | | | X | | | |
| | Regulação ética | X | | | | | | X | | | X |
| Transferência Econômica | Suporte "en block" de P&D | X | X | X | | | | | | X | |
| | Financiamento competitivo de P&D | X | | | | | | | | X | |
| | Isenção de impostos | X | X | X | | | | | | X | |
| | Busca pública por inovação | | | | X | X | X | | | | |
| Instrumentos Suaves | Suporte "en block" promovendo inovação | | | | | X | X | | X | | X |
| | Padronização voluntária | | | | X | | | X | | | |
| | Parcerias público-privadas | X | X | | X | X | X | | | | |
| | Códigos de conduta | | | | | X | | X | | | |

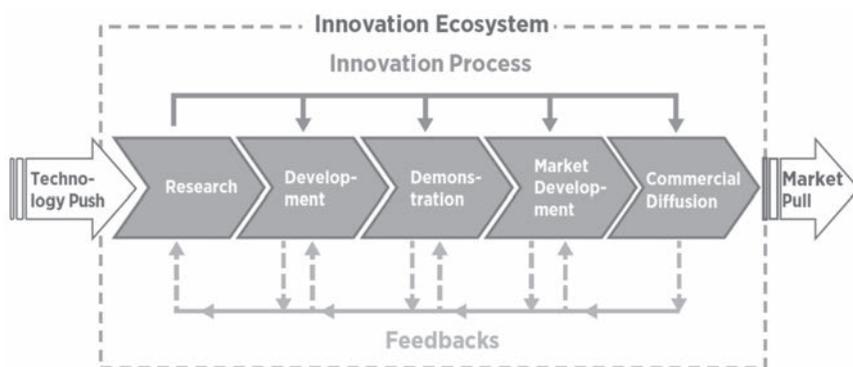
Fonte: Adaptado de Borrás e Edquist (2013).

O *status quo* atual do setor energético é bastante ilustrativo da importância que as políticas públicas podem assumir no incentivo à inovação. Dado o caráter imperativo da redução dos impactos ambientais, sobretudo das emissões de gases do efeito estufa, é necessária uma grande mudança no paradigma tecnológico vigente no setor energético com vistas à redução de sua intensidade em carbono. Com base no arcabouço analítico da Perspectiva Multinível, é possível afirmar que o combate às mudanças climáticas e a busca por práticas mais sustentáveis consistem em uma mudança na “paisagem” que pressiona o regime sócio-tecnológico estabelecido caracterizado pela predominância de fontes fósseis. Neste contexto, a emergência de um sistema energético mais eficiente e com maior participação de fontes renováveis de energia assume grande importância. Porém, mesmo que inovações ocorram em nichos específicos, o desenvolvimento sistêmico e a difusão deste novo paradigma tecnológico exigem a participação de políticas públicas, sobretudo no setor elétrico, em função das características mencionadas anteriormente.

Segundo Dantas (2013), a difusão de tecnologias sustentáveis no setor energético obedece a uma dinâmica iniciada com atividades de pesquisa e desenvolvimento que visam solucionar problemas técnicos e reduzir custos. Considerando a natureza destas atividades, é compreensível o elevado nível de incerteza existente no que se refere aos seus resultados. Na sequência, verifica-se a fase de demonstração onde a tecnologia precisa comprovar sua viabilidade técnica, sendo um estágio do processo em que seus custos ainda estão em pata-

mares elevados. Por fim, existe a fase de desenvolvimento do mercado e difusão comercial. O autor ressalta a importância das políticas públicas ao longo deste processo com vistas a financiar não apenas atividades de pesquisa e desenvolvimento, como também as atividades de demonstração. Além disso, ressalta-se o papel central das políticas públicas na inserção no mercado da nova tecnologia, vide que no momento inicial seu custo normalmente é superior ao das tecnologias convencionais. A Figura 2 ilustra esta dinâmica, que é de natureza sistêmica, sendo pertinente destacar que todas as etapas deste processo envolvem *feedbacks* que retroalimentam o processo.

Figura 2 - Ilustração de uma Visão Dinâmica do Ecossistema de Inovação



Fonte: IRENA (2015).

No caso específico das redes inteligentes, o escopo de projetos de pesquisa e desenvolvimento, assim como de projetos de demonstração, é bastante amplo. Desta forma, é pertinente promover desde de projetos de soluções de automação da rede, integração em larga escala de fontes renováveis de energia, aplicações inerentes à inserção de veículos elétricos até projetos de soluções de instalação de medidores inteligentes, de gerenciamento da demanda e de automação doméstica baseada na rede elétrica. Cabe destacar que estes projetos também devem contemplar outras variáveis, especialmente a questão da aceitação social, pois a Transição Tecnológica é um processo que transcende a esfera estritamente tecnológica. Por exemplo, é relevante o desenvolvimento de estudos que abordem a elasticidade preço da demanda dos consumidores com vistas a dimensionar os reais impactos que tecnologias de gerenciamento da demanda podem ter para o sistema.

Nesse sentido, Toft *et al.* (2014) sugerem que com o objetivo de desenvolver de maneira apropriada as novas tecnologias de redes inteligentes, bem como efetivamente disseminá-las, são necessárias pesquisas que busquem um enten-

dimento melhor a respeito dos motivos do porquê alguns consumidores aceitarem ou rejeitarem as redes inteligentes. Além disso, redes inteligentes podem levar a uma mudança não antecipada em padrões de consumo, por exemplo, em um contexto de maior eficiência tecnológica, a demanda por energia elétrica deveria cair, mas o uso mais intenso de aparelhos elétricos em detrimento, por exemplo, de aparelhos movidos a combustíveis fósseis pode levar a um aumento na demanda por energia elétrica.

Em paralelo, é preciso enfatizar as peculiaridades da difusão comercial das redes inteligentes, pois a distribuição de energia elétrica é uma atividade fortemente regulada, por consistir em monopólio natural. Desta forma, as medidas de incentivo às redes inteligentes tendem a estar mais associadas a mudanças nas diretrizes regulatórias do que à formulação de políticas públicas em um sentido mais amplo.

Em contraste com as redes convencionais, as redes inteligentes caracterizam-se por uma maior proporção de custos operacionais em relação ao montante de capital investido. Observa-se assim a inadequação dos modelos de regulação econômica tradicionais, que estão centrados na base de ativos, para a realização de investimentos em redes inteligentes. O corolário desta inadequação é que a atratividade econômico-financeira de investimentos na automação da rede e do *roll out* de medidores inteligentes para as distribuidoras pode torna-se questionável sem a introdução de inovações regulatórias.

Ao considerar-se o conjunto de tecnologias correlatas às redes inteligentes (microgeração, estocagem de energia, medidas de gerenciamento da demanda automação, etc.), transparece que sua difusão implicará em uma maior participação de recursos energéticos distribuídos e em maior flexibilidade da demanda, com consumidores assumindo um comportamento mais ativo. Desta forma, condicionar as receitas das distribuidoras ao fluxo de energia transportado, como é praxe em muitos países, inclusive no Brasil, pode vir comprometer a viabilidade econômico-financeira das concessionárias. Logo, é importante repensar a regulação. Dentre as questões a serem discutidas, destacam-se a remuneração da base de ativos, a estrutura tarifária, a delimitação de que atividades permanecerão reguladas e quais poderão ser abertas à concorrência, a propriedade de novos dispositivos (medidores inteligentes, pontos de recarga de veículos elétricos, bases de dados com informações sobre os consumidores, etc.), relação entre as distribuidoras e as transmissoras.

Ainda no âmbito das alterações regulatórias, ressalta-se a interface do setor elétrico com o setor de telecomunicações para o desenvolvimento das *smart grids*. Lin *et al.* (2013) enfatizam a necessidade do emprego de políticas e regulações que removam as barreiras aos investimentos em *information and communication technologies* (ICT) e permitam a exploração de todo o potencial na cadeia de valor como uma pré-condição para o desenvolvimento das *smart grids*. Por

sua vez, Erlinghagen e Markard (2012) atribuem às firmas de ICT um papel de potencial catalisadores da transformação do setor elétrico.

Portanto, é possível afirmar que a Transição Tecnológica representada pelas *smart grids* não ocorrerá de forma endógena à dinâmica do setor elétrico. Como consequência, a implementação de políticas públicas e mudanças no arcabouço regulatório é requerida. No entanto, as medidas a serem implementadas precisam considerar especificidades locais e interesses dos diferentes *stakeholders*.

6.3 - Smart Grids no Brasil: análise a partir da Perspectiva Multinível

O exame do *status quo* e das perspectivas do desenvolvimento de redes inteligentes no Brasil exige o prévio conhecimento das motivações e desafios envolvidos. Esta análise deve contemplar, não apenas questões inerentes ao setor elétrico, como as variáveis socioeconômicas brasileiras. Por exemplo, é preciso considerar a reduzida renda e consumo de energia per-capita brasileira⁷, pois a mesma torna difícil justificar o repasse à tarifa de custos elevados com a implementação de soluções de *smart grid*. O objetivo desta seção é justamente analisar as redes inteligentes no Brasil com base no arcabouço teórico da Perspectiva Multinível.

6.3.1 – “Paisagem”

Mesmo considerando o aumento da renda e consumo per-capita brasileira esperado ao longo dos próximos vinte anos, o Brasil será no máximo um país cuja renda estará em patamares médios em nível internacional⁸. Logo, a decisão da alocação dos recursos escassos torna-se complexa em função da necessidade de atender diversas demandas concorrentes e é difícil definir dispêndios prioritários de investimentos por parte das esferas pública e privada. Em contrapartida, a capacidade dos consumidores para pagar fornecimento dos serviços públicos apresenta relativa limitação e isso justifica, por exemplo, a busca por modicidade tarifária ser uma das diretrizes prioritárias no setor elétrico brasileiro.

Não obstante, o reduzido nível de renda de uma considerável parte da população e a complexidade social de certas microrregiões faz com que algumas concessionárias de distribuição de energia elétrica tenham que conviver com elevados níveis de perdas não-técnicas de energia, especialmente em regiões

7 O PIB per capita brasileiro é de US\$ 10.682,05. O mundial é de US\$ 14.511,97. Ambos de 2015 a preços de 2005 PPP (paridade poder de compra) (OECD, 2016)

8 Para 2036, projetam-se PIB per capita de US\$ 16.584,74 e US\$ 25.361,36 para o Brasil e para o mundo, respectivamente. Ambos a preços de 2005 PPP (paridade poder de compra) (OECD, 2016).

onde o poder público não se faz presente de forma efetiva e, por consequência, existe grande dificuldade no combate ao furto de energia elétrica.

Em termos da estrutura da economia, embora o setor terciário seja predominante na economia brasileira e o setor agropecuário também seja bastante importante, há a presença de indústrias caracterizadas por um intenso consumo de energia⁹. Como consequência, a intensidade energética da economia brasileira não é baixa¹⁰ e a garantia do suprimento de energia elétrica a preços módicos é de relevância para a competitividade da indústria nacional.

Em anos recentes, muito se discute o processo de “desindustrialização precoce” da economia brasileira (CARVALHO; KUPFER, 2011; LACERDA; LOURES, 2015). Tal processo caracteriza-se pela redução da participação relativa do setor industrial na economia, sendo o caráter precoce associado ao fato do mesmo ocorrer em um estágio de desenvolvimento socioeconômico onde o nível de renda per-capita ainda se encontra em patamares relativamente baixos. Dado que os custos elevados impostos à indústria brasileira são comumente apontados como uma das principais razões deste fenômeno, é compreensível os preços da energia elétrica¹¹ serem vistos como um entrave para a indústria.

Em paralelo, reconhece-se a necessidade do Brasil aumentar o valor agregado pela economia nacional através do desenvolvimento dos setores mais intensivos em tecnologia e conhecimento (CASSIOLATO, 2015). Tal estratégia visa tornar o Brasil um desenvolvedor de tecnologias em diferentes áreas em detrimento ao seu tradicional papel de “importador” de tecnologias e, desta forma, gerar renda, empregos e divisas. Como ilustração, o Plano Brasil Maior estabeleceu, dentre suas metas, o aumento dos dispêndios com pesquisa e desenvolvimento como proporção do PIB, a elevação da participação da indústria intensiva em conhecimento na economia e a qualificação dos recursos humanos.

Neste contexto, ressalta-se a importância do desenvolvimento de redes inteligentes, vide que em uma estrutura econômica com maior densidade tecnológica é desejável a existência de uma rede de energia elétrica dotada de monitoramento em tempo real dos fluxos de energia. Além disso, caso existam estímulos ao desenvolvimento local da indústria de equipamentos, o desenvolvimento em si próprio das redes inteligentes representa um mecanismo de agregação de valor para indústria brasileira.

9 Entre 2010 e 2015, as participações médias por setor ao valor agregado total foram de 5,1%, 25,38% e 69,52% para os setores agropecuário, industrial e de serviços, respectivamente (IBGE, 2015).

10 Em 2012 a intensidade energética do Brasil era de 0,15(tep/mil US\$ PPP 2011). No mesmo ano, a do mundo era de 0,13 e a dos países da OECD era de 0,10 (MME, 2015).

11 Não apenas o preço em si pode consistir em um problema, como também a eventual falta de previsibilidade dos preços.

O corolário do processo de desindustrialização brasileiro, assim como do desenvolvimento focado em setores de maior valor agregado e do uso mais eficiente dos recursos energéticos é, pelo menos do ponto de vista da indústria, uma redução da intensidade energética da economia brasileira. Porém, considerando o ainda reduzido nível de consumo de energia per-capita do Brasil, é preciso ter a ciência que em termos absolutos o consumo tende a crescer ao longo das próximas décadas¹². Em especial, a demanda por energia elétrica deverá apresentar expressivos aumentos¹³. Explica-se: não obstante o uso de energia elétrica ser uma condicionante para o atendimento de necessidades sociais básicas, a busca pela sustentabilidade no setor energético passa por um uso mais intensivo de energia elétrica em detrimento a outras formas de energia com vistas a trabalhar-se com maiores níveis de eficiência¹⁴.

Além da demanda por energia elétrica ser crescente no horizonte de médio/longo prazo, é preciso considerar que as exigências dos consumidores em termos de qualidade e sustentabilidade dos bens e serviços tendem a se tornar maiores. Esta mudança do comportamento dos consumidores estará associada à difusão da sociedade do conhecimento e de uma atuação mais efetiva da sociedade civil. O corolário desta tendência sob a ótica do setor elétrico serão pressões crescentes acerca da confiabilidade e da qualidade do suprimento.

Considerando o maior nível de exigência da sociedade em termos de sustentabilidade das atividades socioeconômicas, a necessidade de preservar recursos naturais e mitigar impactos ambientais será cada vez mais imperativa. Em realidade, desde a Constituição de 1988 verifica-se um caráter mais rígido da legislação ambiental brasileira, sobretudo em termos de implementação de projetos no bioma amazônico. Por sua vez, ao nível dos esforços para mitigação das alterações climáticas, a partir do Acordo de Paris¹⁵ o Brasil passa a assumir compromissos formais de redução de suas emissões de gases do efeito estufa¹⁶. Como consequência, apesar da mudança e uso da terra ser o vetor responsável por historicamente o Brasil ser um dos principais emissores de gases do efeito

12 Em 2015 o consumo de energia elétrica brasileiro foi de 464,7 TWh. Para 2040 projeta-se um consumo de energia de 1,278 TWh (EPE, 2016)

13 Conforme a EPE (2014), até 2040 a demanda por energia elétrica crescerá 150% enquanto que a demanda por energia crescerá 106%.

14 A substituição de acionamentos mecânicos por acionamentos elétricos na indústria é bastante ilustrativa desta tendência.

15 O Acordo de Paris é um tratado no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC - sigla em inglês), que rege medidas de redução de emissão dióxido de carbono a partir de 2020. O acordo foi negociado durante a COP-21, em Paris e foi aprovado em 12 de dezembro 2015.

16 Mesmo antes do Acordo de Paris, o Brasil já havia assumido de forma voluntária o compromisso de redução de suas emissões através da Lei 12.187/09 acerca da questão climática. Tal lei estabelece uma redução das emissões de gases do efeito estufa entre 36,1 e 38,9% em relação a um cenário de referência construído para 2020.

estufa do mundo¹⁷ e a intensidade de carbono do setor energético brasileiro ser relativamente baixa¹⁸, é possível vislumbrar-se que algum esforço de limitação de emissões será imposto ao setor energético brasileiro. Logo, uma vez que a paisagem sócio-técnica passa a incorporar a dimensão da sustentabilidade ambiental e climática como elemento-chave, imposições regulatórias passarão a ocorrer no nível do regime sócio-técnico, o que, por sua vez, abre espaço para inovações no nível dos nichos.

Em síntese, é possível afirmar que a “paisagem” brasileira na qual as redes inteligentes estão circunscritas aponta para ganhos de eficiência e promoção de um sistema mais confiável e de maior qualidade como *drivers* essenciais em um contexto de expressivo crescimento da demanda, sendo o *driver* ambiental de menor importância quando comparado à dinâmica verificada em países com sistemas elétricos caracterizados pela predominância de geração a partir de fontes fósseis. No caso de regiões com perdas não-técnicas elevadas, o combate às mesmas também consiste em uma importante motivação. Por sua vez, é preciso considerar a aderência entre o desenvolvimento de redes inteligentes e o objetivo de dotar a estrutura econômica brasileira de maior densidade tecnológica. Em contrapartida, as limitações de disponibilidade de capital para a realização dos investimentos e a necessidade de ofertar energia a preços módicos consistem em entraves a serem considerados na análise da perspectiva de desenvolvimento de redes inteligentes no Brasil.

6.3.2 – Regime Sócio-Tecnológico

No ano de 2014, o consumo brasileiro de energia elétrica foi da ordem de 530 TWh, sendo de aproximadamente de 2630 kWh por habitante o consumo per-capita. Trata-se de um patamar de consumo ainda relativamente modesto em comparação aos países ditos desenvolvidos. Este consumo foi atendido através da produção de 624 TWh com perdas totais da ordem de 14,9% (MME; EPE, 2015a). Embora se trate de um país com um sistema interligado de dimensões continentais que por sua extensão leva a perdas técnicas acima da média mundial, ressalta-se que o volume de perdas totais é bastante influenciado pelas

17 Esforços de combate ao desmatamento vêm permitindo a redução das emissões brasileiras de gases do efeito estufa. De acordo com MCTI *et al.* (2013), as emissões relativas ao desmatamento foram reduzidas em 76% entre 2005 e 2010. Logo, tais esforços foram vitais para as emissões brasileiras totalizarem 1,246 GtCO_{2eq} em 2010 em contraste com emissões superiores a 2 GtCO_{2eq} registradas em 2005.

18 Conforme MME e EPE (2015a), no ano de 2011 as emissões de gases do efeito estufa per capita do setor energético brasileiro foram de 2,1 tCO₂ enquanto que nos EUA e na União Europeia os valores foram de, respectivamente, 16,9 tCO₂ e 7,0 tCO₂.

perdas não-técnicas (furto) de energia¹⁹. A Tabela 2 ilustra em termos monetários a relevância das perdas não técnicas.

Tabela 2 – Despesas de Perdas (em mil reais R\$) - 17/04/2015

| Perdas Não Técnicas | Perdas Técnicas | Perdas Rede Básica | Perdas Totais |
|---------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| 34% | 54% | 12% | 100% |
| 6.930.803 | 11.100.819 | 2.480.499 | 20.512.121 |

Fonte: ANEEL (2015)

Em nível de geração de energia elétrica, destaca-se que a mesma é predominantemente hídrica. Para lidar com a sazonalidade das aflúências, o parque hídrico foi historicamente construído associado a vários reservatórios de acumulação com a função de regularizarem a oferta de energia ao longo do ano e, mesmo, entre anos mais úmidos e anos mais secos. Além disso, foi implementado um robusto sistema de transmissão com vistas a interconectar diferentes regiões e possibilitar a exploração de sinergias derivadas das diferenças das aflúências elas. Por sua vez, tradicionalmente a função do parque térmico deveria ser de atuar como *backup* do sistema, aumentando a robustez e resiliência do sistema quanto às variações das aflúências que afetam o nível de geração hídrica.

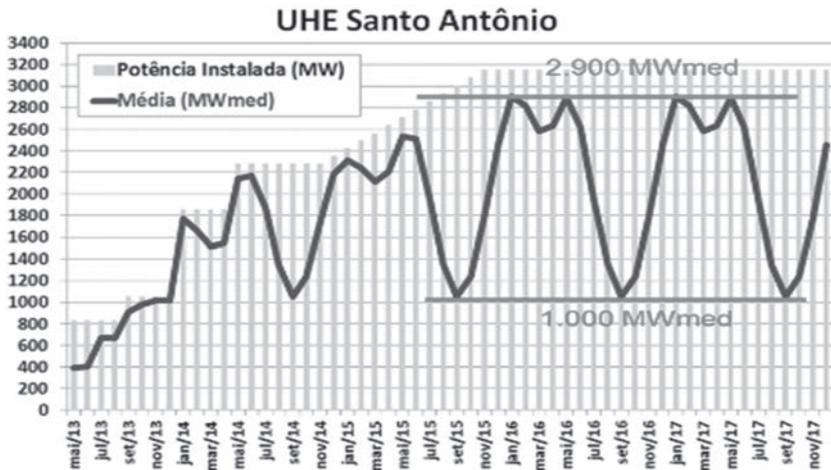
No entanto, com o virtual esgotamento das oportunidades para construção de grandes hidroelétricas próximas aos centros de consumo, a geração hídrica vem perdendo (e deve continuar a perder) paulatinamente participação na matriz de geração. Mas mesmo assim ela é e deve continuar a ser predominante, tanto em capacidade instalada, como em geração efetiva. Como ilustração, apesar da crise hídrica iniciada no fim de 2012 e a consequente necessidade de despachar um grande montante de usinas termoelétricas na base de forma contínua, o parque hídrico continua a responder por mais de dois terços da geração de energia elétrica.

Observa-se que o próprio perfil do parque hídrico está em transição, pois as novas hidroelétricas têm características diferentes das usinas mais antigas, notadamente pouca capacidade de armazenamento. Por um lado, o potencial hidroelétrico remanescente está localizado na Região Amazônica, onde a topografia é suave. Além disso, hoje existem fortes restrições da esfera ambiental quanto ao alagamento de áreas extensas, de forma que as usinas que estão

¹⁹ As perdas totais do Sistema Interligado Nacional foram de 18% em 2015 (MME; EPE, 2015b). Segundo a ABRADDEE (2013), participação média das perdas não técnicas nas perdas totais, dos últimos 15 anos, foi de 41%. Portanto, pode-se estimar que 7,2% da carga do SIN em 2015 esteve associada a perdas não técnicas.

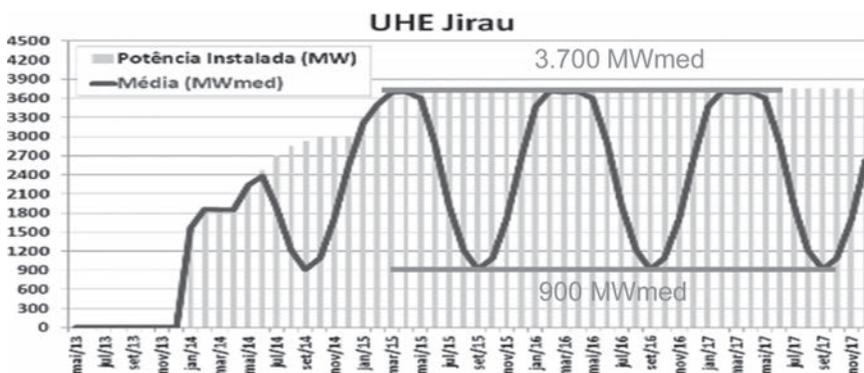
sendo planejadas e construídas com pequenos reservatórios de acumulação. Logo, a capacidade de regularização da oferta hídrica é nitidamente decrescente e, por consequência, a oferta de energia hidroelétrica irá se tornar cada vez mais sazonal²⁰. As Figuras 3 e 4 são bastante ilustrativas desta tendência, pois apresentam a energia média esperada ao longo do ano, respectivamente, das usinas de Santo Antônio e de Jirau.

Figura 3 – Sazonalidade da Oferta de Energia da UHE Santo Antônio



Fonte: ONS (2015).

Figura 4 – Sazonalidade da Oferta de Energia da UHE Jirau

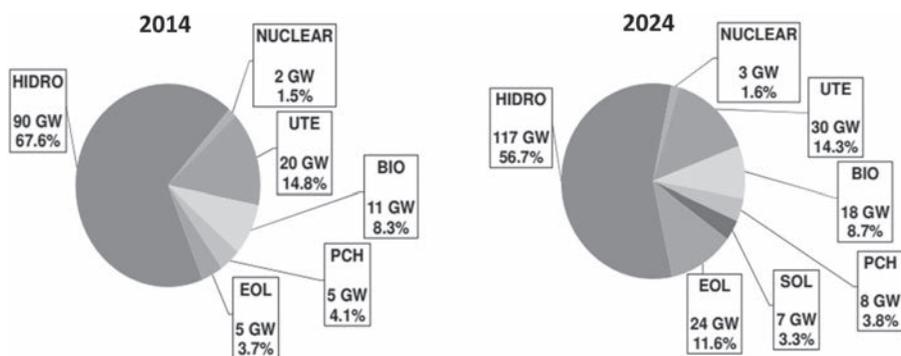


Fonte: ONS (2015).

²⁰ Esta questão é agravada pela sazonalidade das aflúncias na Região Norte ser mais acentuada.

Logo, é perceptível a necessidade de diversificar a matriz elétrica brasileira, sobretudo ao considerar-se que o crescimento previsto da demanda por energia elétrica entre 2014 e 2024 é de 260 TWh (MME; EPE, 2015b). A Figura 5 é ilustrativa desta tendência ao comparar a composição da matriz elétrica em 2014 com aquela prospectada para 2024.

Figura 5 – Evolução do Parque Gerador Brasileiro entre 2014 e 2024



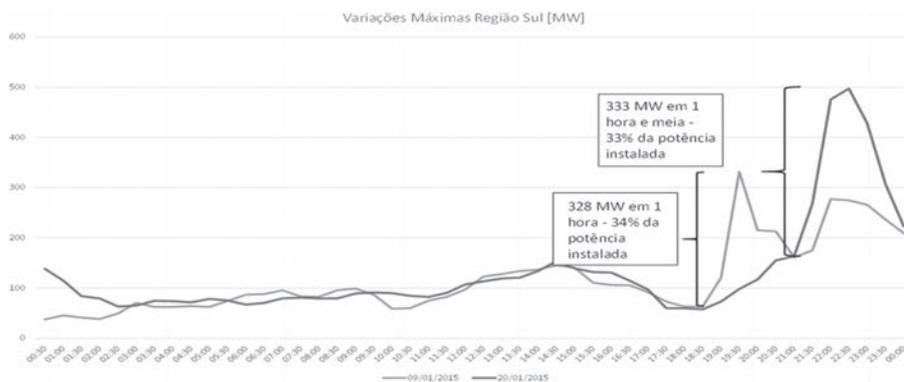
Fonte: MME e EPE (2015b).

A Figura 5 indica um considerável aumento das fontes renováveis não-hídricas no período. Trata-se de um resultado compatível com a constatação de que a exploração das potencialidades brasileiras em termos de fontes renováveis de energia é uma estratégia pertinente e alinhada com a promoção de uma economia de baixo carbono. Neste sentido, não bastasse a inserção na rede de excedentes de energia elétrica produzidos em usinas sucroenergéticas a partir da biomassa residual do processamento da cana de açúcar, nos últimos anos vêm sendo realizados vultosos investimentos na construção de usinas eólicas. Desta forma, a capacidade instalada de produção de energia eólica totalizou aproximadamente 8,5 GW ao fim de 2015.

Embora a fonte eólica seja sazonalmente complementar ao regime hídrico²¹, trata-se de uma fonte intermitente que impõe desafios para a operação do sistema, especialmente em termos do atendimento da demanda no horário de ponta (pico de consumo). Mesmo a participação da geração eólica ainda sendo pequena, estes efeitos já podem ser notados. A Figura 6 apresenta variações consideráveis da geração em períodos de tempo relativamente curtos registradas em dois dias do início do ano de 2015. O eixo das abcissas representa a hora do dia e o das ordenadas, a geração de uma planta no sul do Brasil.

21 Os ventos são mais intensos e regulares no período seco do ano (entre maio e novembro), sobretudo na Região Nordeste.

Figura 6 – Variações Máximas na Geração Eólica em uma Planta da Região Sul



Fonte: ONS (2015).

Esta dificuldade tende a ser acentuada com a inserção da geração solar, especificamente solar fotovoltaica, na matriz ao longo dos próximos anos. Em boa medida, a difusão da geração fotovoltaica ocorrerá nas próprias unidades consumidoras conectadas à rede de baixa tensão em função da Resolução 482/2012 e suas posteriores revisões²². Portanto, a questão da intermitência também precisará ser gerenciada diretamente pelas concessionárias de distribuição de energia elétrica.

Com vistas a garantir a segurança do suprimento, a contratação de centrais de geração controláveis apresenta-se como uma estratégia pertinente. Em linhas gerais, trata-se da realização de investimentos em centrais termoeletricas para operar na base do sistema, assim como de centrais termoeletricas dotadas de “despachabilidade” para o atendimento da demanda de ponta. Concomitantemente, reconhece-se a importância da realização de reforços na rede com vistas a torná-la mais robusta.

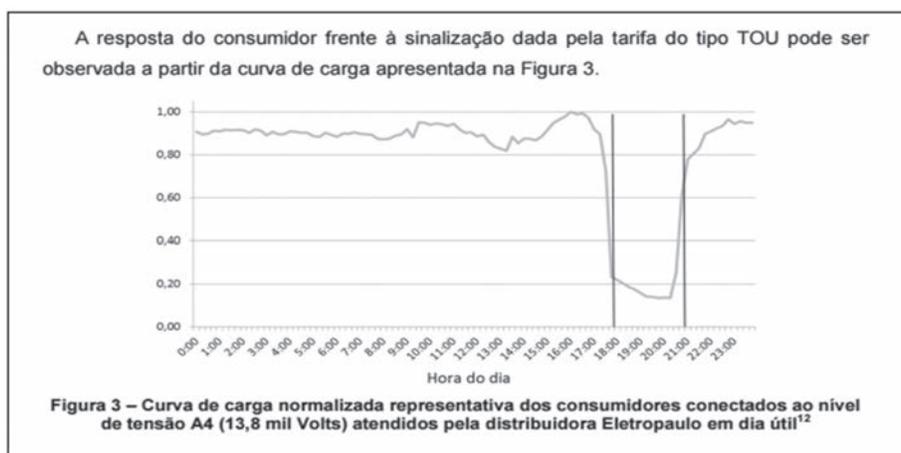
Porém, é preciso ressaltar que a flexibilização da demanda pode assumir importância no gerenciamento do sistema. Embora todo o conjunto de medidas no escopo da *demand side management* seja importante em termos de uma visão integrada de planejamento energético, o foco aqui são especificamente

²² Esta resolução versa sobre as condições gerais para o acesso de microgeração e de minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, assim como trata do sistema de compensação estabelecido. Em novembro de 2015, a ANEEL promoveu alterações nesta resolução com vistas a dinamizar este segmento de mercado. Essencialmente, o prazo para o uso de créditos de energia derivados de produção superior ao consumo passou a ser de 60 meses e condomínios passaram a ser aptos a instalarem centrais de geração distribuída. Além disso, criou-se a figura da “geração compartilhada” através da reunião de interessados em um consórcio.

medidas de *demand response* que possibilitem atenuar a demanda de ponta do sistema²³.

Em nível de consumidores de grande porte, há hoje tarifas do tipo *time-of-use* (TOU). Esta estrutura tarifária apresenta um sinal horário que visa distinguir o horário de ponta em relação aos demais horários. De fato, os estudos indicam que os consumidores industriais efetivamente respondem a esta sinalização tarifária, conforme pode ser verificado através da Figura 7.

Figura 7 – Resposta do Consumidor Industrial a TOU: curva de carga normalizada de média tensão da Eletropaulo em dia útil

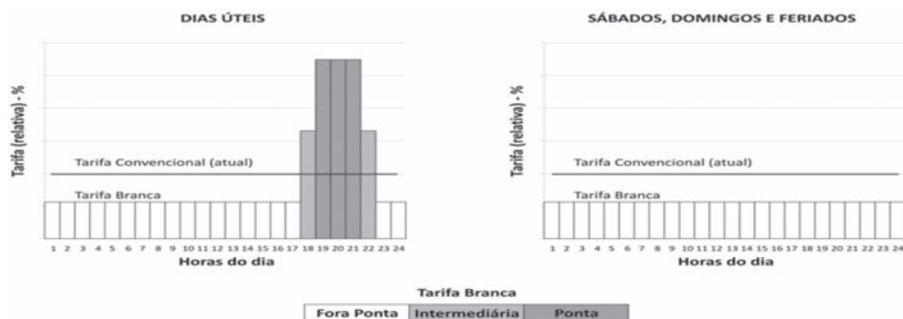


Fonte: ANEEL *apud* Sousa (2013).

Mais recentemente, foi criada a modalidade tarifa branca destinada aos consumidores de baixa tensão, cuja adesão é de caráter facultativo. Esta estrutura tarifária também é do tipo TOU e busca distinguir o preço da energia em termos horários nos dias úteis, ou seja, o horário de ponta entre 18 e 21 horas; um horário intermediário composto pelas horas imediatamente anterior e posterior ao horário de ponta; fora da ponta compreendendo os demais horários. A Figura 8 apresenta a lógica de funcionamento das tarifas brancas.

²³ Em paralelo, ressalta-se a importância que os sistemas e tecnologias de armazenamento de energia podem vir a ter como alternativa para lidar com os impactos da expansão das fontes eólica e solar, vide possibilitarem a minimização dos efeitos derivados da intermitência e da não “despachabilidade” destas fontes.

Figura 8 – Dinâmica das Tarifas Brancas



Fonte: Brancher (2014).

Contudo, a efetividade da tarifa branca requer na prática o emprego de medidores inteligentes, sendo que atualmente a grande maioria dos consumidores continua a ter seu consumo de energia mensurado através de medidores eletromecânicos²⁴. Embora a resolução normativa 502/2012 tenha estabelecido março de 2014 como o prazo para a instalação de medidores inteligentes nas unidades consumidoras que aderirem à tarifa branca, esta questão ainda não está equacionada em função da limitada oferta de medidores inteligentes no mercado e incertezas no âmbito das normas de padronização, homologação. Além disso, é preciso considerar os custos com as redes de telecomunicação e sistemas de informação. Neste contexto, compreende-se porque em fevereiro de 2014 a ANEEL optou por postergar o cronograma inicialmente previsto para a implementação da tarifa branca.

Os modelos de tarifação inteligentes são um dos elementos centrais na justificativa para a difusão de medidores inteligentes. Porém, existem outras motivações, as quais vão desde incitar comportamento mais eficiente no uso de equipamentos, até lidar com fluxos bidirecionais de energia e monitorar a carga. Em linhas com a supracitada necessidade de combate das perdas não-técnicas em algumas regiões, ressalta-se a importância da implementação de medidores inteligentes. Apesar destes medidores por si só não reduzirem as perdas, os mesmos permitem identificar com exatidão sua localização e, por consequência, possibilitam a adoção de medidas efetivas com vistas a combatê-las.

No entanto, é preciso enfatizar que é necessário o desenvolvimento de um sistema de medição inteligente não consiste apenas em instalar medidores inteligentes, vide a necessidade da montagem de uma infraestrutura de comunicação.

²⁴ Conforme Galo *et al.* (2014), 95% das unidades consumidoras são dotadas de medidores eletromecânicos. Os autores destacam que tais medidores não possuem medições muito precisas e não permitem o adequado monitoramento da carga.

A questão da rede de comunicação é particularmente delicada no Brasil, pois devido à precariedade das redes das empresas de telecomunicação brasileiras, é comum as concessionárias de distribuição serem obrigadas a desenvolver suas próprias redes de comunicação. Como consequência, o custo do investimento de sistemas de medição inteligente acaba sendo onerado, dificultando a implementação dos mesmos.

De todo modo, dado que as redes inteligentes não se resumem à medição inteligente, é preciso considerar outras de suas vertentes em termos de relevância para o sistema elétrico brasileiro e a plausibilidade de uma efetiva implementação. Para isso, inicialmente é preciso considerar o *status quo* da rede elétrica atual.

Neste sentido, verifica-se que o parque de geração e a rede de transmissão²⁵ do Brasil são no geral automatizados, isto é, dotados de tecnologias digitais e controlados ou monitorados remotamente. Desta forma, é possível o monitoramento em tempo real das condições de operação. Em contraste com a realidade da alta tensão, as concessionárias de distribuição apresentam redes caracterizadas por um nível de automação bastante variado, mas, na média, relativamente limitado. Observa-se assim que a operação da rede de distribuição continua a ser realizada com base em tecnologias e práticas convencionais (GALO *et al.*, 2014).

Além disso, é importante enfatizar que as redes de distribuição brasileira, são constituídas majoritariamente por redes aéreas e não isoladas, susceptíveis as fortes interferências do clima e da vegetação. Logo, torna-se compreensível porque, além do elevado nível de perdas, existe uma baixa qualidade do fornecimento de energia elétrica. Esta baixa qualidade é mensurada pela frequência de interrupções do fornecimento ao longo do ano (FEC) e a duração destas interrupções (DEC), sendo esta última métrica diretamente derivada das dificuldades/limitações do sistema em corrigir falhas e realizar o reestabelecimento (DI SANTO *et al.*, 2015). Como ilustração, em 2013 o FEC médio das concessionárias de distribuição brasileira foi de 10,49 enquanto que o DEC foi de 1095,6 minutos (ANEEL, 2015)²⁶. Para efeito de comparação, o número médio de interrupções e a duração destas interrupções na Alemanha em 2013 foram

25 Além do baixo nível tecnológico, ressalta-se que a qualidade do serviço é bastante suscetível aos investimentos na rede, mesmo quando os investimentos são em equipamentos convencionais. Em suma, a ideia é que quanto mais folga tiver a rede, melhor será a qualidade. De todo modo, dado um nível de folga, a qualidade será diretamente proporcional à participação de redes enterradas e ao nível de automação.

26 A hipótese que estes indicadores são enviesados pela existência de empresas de distribuição ineficientes, especialmente em áreas de concessão de baixa densidade de carga, não é pertinente. Explica-se: mesmo os menores valores de DEC e FEC, os quais foram, respectivamente, de 506,4 (minutos) e 8,13 em 2011 e pertenceram a CPFL Santa Cruz, são bastante elevados (ANEEL, 2012). Observa-se assim que mesmo a distribuidora brasileira detentora de maior nível de confiabilidade/qualidade ainda está bastante aquém dos padrões encontrados nos países ditos desenvolvidos, que apresentam valores de DEC e FEC de 86,44 (minutos) e 1,3, respectivamente (CEER, 2015).

de, respectivamente, 0,47 e 15,32 minutos (CEER, 2015). Por sua vez, na Coreia do Sul, estes indicadores foram de 0,45 e 18,6 minutos em 2005 (KOICA, 2012). Portanto, é notória a baixa qualidade do suprimento de energia elétrica no Brasil quando comparada aos países com redes subterrâneas e mais automatizadas.

A modernização da infraestrutura de distribuição, especialmente o desenvolvimento de redes inteligentes, é um elemento central para a melhoria da qualidade do serviço. Além disso, contribuirá para o atendimento de objetivos como aumentar o nível de eficiência do sistema e a identificação de perdas não técnicas. Porém, não são verificados esforços efetivos nesta direção. Em grande medida, a dificuldade advém do modelo regulatório vigente, pois o mesmo não incita os agentes optarem pela tecnologia mais eficiente por não reconhecer o investimento e/ou este investimento não poder ser remunerado de forma adequada com as regras atuais, sobretudo quando se tratam de tecnologias caracterizadas por uma maior proporção de custo operacional (OPEX) em relação ao custo de capital (CAPEX) em sua estrutura de custos. Especialmente, a questão dos investimentos em redes de telecomunicações e em tecnologias de informação apresenta-se problemática.

6.3.3 – Nichos para *Smart Grids* no Brasil

Com vistas ao desenvolvimento de redes inteligentes no Brasil, há algumas importantes iniciativas. No âmbito legislativo, estão em trâmite no Congresso os projetos 608/2001, 84/2012 e 3337/2012 que tratam da difusão em larga escala de redes inteligentes. Em paralelo, destaca-se o trabalho do grupo interministerial sob o comando da ABDI que busca identificar toda a cadeia produtiva de redes inteligentes e propor políticas públicas que contemplem o desenvolvimento da indústria nacional.

No âmbito das diretrizes regulatórias, além das supracitadas resoluções 482/2012 e 502/2012, devem ser destacadas as resoluções 375/2009, 395/2009 e 464/2011 que tratam, respectivamente, da utilização da rede de distribuição para transportar sinais analógicos e digitais (por exemplo, internet) e da implementação de sistema de informações georreferenciadas da rede de distribuição e tarifa branca.

Porém, é preciso ressaltar que as iniciativas mais efetivas de desenvolvimento de redes inteligentes ainda se encontram restritas a projetos de pesquisa e desenvolvimento, especialmente através de projetos pilotos implementados por algumas concessionárias de distribuição de energia elétrica. Comumente, estes projetos visam testar em uma amostra do seu mercado tecnologias e medidas inerentes a redes inteligentes, dentre as quais, sistemas de medição e de tarifação inteligentes, automação da rede (incluindo *self-healing*), microgeração, mobilidade elétrica e *smart home*.

Como ilustração, destaca-se o projeto InovCity desenvolvido pela EDP/Bandeirantes na cidade de Aparecida, o qual é análogo ao projeto implementado pela EDP na cidade de Évora em Portugal. A cidade de Aparecida representa 1% do mercado consumidor da EDP/Bandeirantes e o projeto abrange um universo com cerca de 15.000 consumidores. O projeto contempla a instalação de medidores inteligentes, medidas de eficiência energética, automação da rede, geração distribuída, iluminação pública dotada de eficiência, ações de conscientização da população acerca do uso racional de energia e mobilidade elétrica.

Por sua vez, a AES/Eletropaulo possui o maior projeto de redes inteligentes do Brasil nas cidades de Barueri e de Vargem Grande Paulista. Dado que Barueri integra a região metropolitana de São Paulo, trata-se de uma cidade adequada para experimentos a serem replicados em áreas urbanas e industriais. Em suma, o projeto irá atender 52.000 consumidores em Barueri e irá englobar medição inteligente e automação da rede com vistas a reduzir perdas comerciais, melhorar a qualidade do fornecimento e tornar o sistema mais eficiente. Em contrapartida, Vargem Grande Paulista é uma área essencialmente rural onde a concessionária busca desenvolver soluções para regiões deste tipo, sobretudo em termos de *self healing*.

Com algumas variantes, projetos semelhantes aos da EDP/Bandeirantes e da AES/Eletropaulo estão sendo desenvolvidos pela Ampla na cidade Búzios, pela Cemig na cidade de Sete Lagoas e pela COPEL na região metropolitana de Curitiba. Em linhas gerais, os projetos buscam não apenas encontrar mecanismos de tornar o sistema mais eficiente e com menores custos operacionais, como principalmente definir um modelo a ser replicado em maior escala.

Apesar do desenvolvimento das redes inteligentes estar ocorrendo essencialmente com base em projetos pilotos, pois o arcabouço regulatório atual não incentiva à modernização da rede, existem nichos específicos onde a redução de custos operacionais pode justificar o investimento. Este é o caso da Light no Rio de Janeiro que já instalou 400.000 mil medidores inteligentes com o objetivo de reduzir as perdas comerciais e, por consequência, melhorar seu resultado operacional.

Em suma, é possível afirmar que ainda não existe um efetivo processo de difusão de redes inteligentes no Brasil. Logo, é pertinente o exame de alternativas de políticas públicas que possam vir a induzir a realização de investimentos nesta tecnologia.

6.4 – Propostas de Políticas para o Desenvolvimento de Redes Inteligentes no Brasil

Conforme fora relatado na seção 6.2, as características inerentes ao setor elétrico fazem com que o processo de inovação tende a não ocorrer de forma endógena à sua dinâmica. Desta forma, há necessidade de formulação de políticas

públicas, especialmente em termos de mudanças nas diretrizes regulatórias, com vistas a incitar e viabilizar economicamente a emergência de um novo paradigma tecnológico. O exame do *status quo* das redes inteligentes no Brasil é bastante ilustrativo desta necessidade porque, apesar das motivações para a implementação de redes inteligentes, o sistema estabelecido e as normas regulatórias estabelecidas não induzem a este desenvolvimento.

Embora existam projetos de P&D e demonstrativos acerca de redes inteligentes no Brasil, há forte dependência dos recursos financeiros do programa de pesquisa e desenvolvimento da ANEEL e, como consequência, a abrangência e difusão dos projetos tende a ser limitada. Ao mesmo tempo, a participação da indústria no processo de desenvolvimento tecnológico é reduzida. Como consequência, existem indícios que os projetos de P&D isoladamente não estão sendo suficientemente capazes de incitar a criação e difusão das inovações tecnológicas. Nestes termos, pode-se destacar uma possível necessidade de maior coordenação/integração dos diferentes projetos e uma participação da indústria nos mesmos, com ênfase na execução de projetos com maiores escalas e níveis de maturidade tecnológica.

Nesta mesma vertente analítica, pode-se recomendar o uso de recursos do programa de eficiência energética da ANEEL para projetos de redes inteligentes, principalmente na inserção da geração distribuída e combate as perdas, e que os recursos disponíveis também possam ser utilizados em projetos aplicados. Este tipo de estratégia possui como objetivo viabilizar a efetiva implementação de inovações tecnológicas no setor elétrico. Por outro lado, a medida proposta é condizente com a necessidade de desenvolvimento da cadeia produtiva de redes inteligentes no Brasil e, em concomitância, com a qualificação da mão de obra. Ressalta-se que as medidas sugeridas podem ser comparadas ao verificado no processo em curso na União Europeia onde estão sendo priorizados projetos com maior maturidade tecnológica (*Technology Readiness Level*) e, por consequência, os dispêndios em projetos de demonstração são superiores aos gastos com projetos de pesquisa e desenvolvimento.

De todo modo, a experiência internacional mostra a importância do estabelecimento de metas para a efetiva implementação de redes inteligentes como forma a criar mercado para essas novas tecnologias e incentivar a participação da indústria. Neste sentido, ressalta-se a relevância de uma política que verse acerca da instalação compulsória de medidores inteligentes em todas as unidades consumidoras com vistas ao estabelecimento de um sistema de medição inteligente. Explica-se: ao permitir o monitoramento em tempo real de todos os fluxos de energia elétrica da rede, este sistema é de grande relevância para equacionar os desafios inerentes à operação da rede, à identificação de defeitos, monitoramento da qualidade do produto, à difusão da geração distribuída (especialmente microgeração), de medidas de gerenciamento da demanda, de

armazenamento de energia e, sobretudo, possibilita a adoção de sistemas de tarifação dinâmicos e identificação e combate as perdas não técnicas. Em suma, a existência de um sistema de medição inteligente dota o sistema elétrico de maior eficiência e confiabilidade. Em nível internacional, o caso da Itália e da Califórnia, onde o *roll out* já foi realizado, e o da França, onde o processo ainda está em curso, são bastante ilustrativos.

Contudo, no escopo do o setor elétrico brasileiro, é preciso considerar que as deficiências da rede de telecomunicações brasileira fazem com que este *roll out* tenda a ter um custo elevado, em função da necessidade de investimentos na rede de comunicações. Dado que estes custos deverão ser repassados para a tarifa final de energia, esta é uma variável que precisa ser considerada de forma cuidadosa no exame deste tipo de política e pelas ações das empresas concessionárias de distribuição.

Uma possível alternativa para contornar as deficiências da rede sem onerar os consumidores de energia elétrica seria o estabelecimento de padrões mínimos de qualidade para os operadores de telecomunicação, reduzindo assim a necessidade de investimentos por parte dos agentes do setor elétrico. Como consequência, as condições para a realização do *roll out* de medidores inteligentes seriam mais favoráveis por requererem um menor volume de investimento.

Por sua vez, ressalta-se que o compartilhamento de infraestruturas de comunicação e informação com operadores de outros serviços públicos também é pertinente com vistas a reduzir o custo do investimento requerido pelas empresas do setor elétrico. Nesta direção deve ser destacado que, embora o desenvolvimento de redes elétricas inteligentes consista em um pré-requisito para a implementação de uma cidade inteligente, o conceito de cidades deste tipo é mais amplo, pois busca promover o uso racional e sustentável de todos os recursos. Logo, é notório que cidades inteligentes também contemplam outras infraestruturas (redes de água, esgoto, transportes urbanos, telecomunicações, etc.). Assim, um plano de desenvolvimento de cidades inteligentes incita investimentos em redes inteligentes de energia elétrica, não apenas por estas redes serem essenciais para cidades inteligentes, como também por possibilitar o supracitado compartilhamento de infraestruturas.

Concomitantemente, apesar de investimentos em unidades de microgeração não serem dependentes da existência de uma rede inteligente, a efetiva difusão de um sistema caracterizado pela presença maciça de recursos energéticos distribuídos, onde exista garantia da qualidade e da confiabilidade do suprimento, requer a presença de redes inteligentes capazes de monitorar os fluxos de energia elétrica em tempo real. Desta forma, observa-se que o estabelecimento de políticas e diretrizes de incentivo à difusão destas tecnologias acaba por induzir o desenvolvimento de redes inteligentes. Políticas deste tipo já estão consagradas em nível internacional, sobretudo nos países desenvolvidos. Por exemplo,

ressalta-se as tarifas *feed in* implementadas em diversos membros da União Europeia para incitar investimentos em microgeração e também as tarifas binômias onde é cobrado separadamente consumo e demanda contratada. Mesmo no Brasil, existem medidas nesta direção, vide a Resolução Normativa n.º 482 da Aneel que trata da regulamentação da microgeração e da minigeração. De todo modo, desonerações tributárias, incentivos fiscais e linhas de financiamento em condições especiais consistem em importantes instrumentos para avanços nas políticas de incentivos aos recursos energéticos distribuídos e, por consequência, para o estabelecimento e difusão de redes elétricas inteligentes.

Porém, é preciso ter ciência que investimentos em redes inteligentes só serão realizados na medida em que haja viabilidade econômica. Neste sentido, ressalta-se que o atual marco regulatório apresenta incompatibilidades com as transformações prospectadas para o setor elétrico. Conforme já fora mencionado, os arcabouços vigentes na grande maioria dos casos não incitam os agentes optarem pela tecnologia mais eficiente por não reconhecer o investimento e/ou este investimento não poder ser remunerado de forma adequada, sobretudo quando se tratam de tecnologias caracterizadas por uma maior proporção de custos relativos à operação e manutenção (OPEX) em relação aos custos de investimento (CAPEX) em sua estrutura de custos. Especialmente, a questão dos investimentos em redes de telecomunicações e em tecnologias de informação apresenta-se problemática. Portanto, com vistas a mitigar as incertezas referentes à base regulatória e à atratividade dos investimentos, propõem-se mudanças regulatórias que induzam e a modernização das redes elétricas. Dentre essas medidas, destacam-se o reconhecimento de investimentos na renovação e modernização dos ativos e o desenvolvimento de metodologias que permita remunerar de forma adequada tecnologias com maior proporção de OPEX em sua estrutura de custos. Por exemplo, as recentes alterações na regulação do Reino Unido com o advento da metodologia RIIO (*Revenue=Incentives+Innovation+Outputs*) são bastante ilustrativas dos avanços possíveis nesta área²⁷.

Ao mesmo tempo, estas transformações prospectadas para o setor elétrico exigirão a formatação de novos modelos de negócios. Desta forma, pode-se vislumbrar a presença de agentes como agregadores de carga e *virtual power plants* bem como uma atuação mais ativa de provedores de serviço de eficiência energética. Além disso, o volume de dados disponibilizados permitirá a oferta

27 O RIIO é um modelo regulatório do tipo *output based*, ou seja, o regulador estabelece os parâmetros de qualidade que as empresas devem atender e as mesmas possuem a liberdade de escolher os investimentos que irão realizar, mas sofrem sanções/punições no caso de não atenderem aos padrões pré-estabelecidos. Portanto, o RIIO coloca os concessionários da rede britânica como agentes centrais nos processos de tomada de decisão em um contexto em que existem incentivos para realização das opções de investimentos mais eficientes e a inovações que possibilitem aumento de qualidade e redução dos custos da rede.

de serviços personalizada para as necessidades de cada consumidor. Além da regulamentação acerca da atuação destes novos serviços e agentes, nota-se que os ajustes regulatórios neste campo também podem possibilitar às concessionárias de distribuição de energia elétrica atuarem em mercados não regulados. A emergência de novos agentes e a permissão para concessionárias de distribuição atuarem em mercados não-regulados são tendências já verificadas em países onde as transformações do setor elétrico já estão em curso. Em suma, a questão aqui é a criação de um arcabouço regulatório que incite e permita a exploração de modelos negócios compatíveis com o paradigma tecnológico emergente.

Por fim, com vistas a fazer com que o desenvolvimento de redes inteligentes propicie benefícios macroeconômicos para o país, é relevante capacitar a indústria nacional para que a mesma seja capaz de suprir o mercado interno das tecnologias que compõem as redes inteligentes. No âmbito desta estratégia, a exportação de bens e serviços também deve ser considerada e é possível afirmar que a exportação de tecnologias é um importante *driver* para o desenvolvimento de redes inteligentes, vide as estratégias verificadas em países como Alemanha e Coreia do Sul. Logo, propõe-se um conjunto de estímulos financeiros, os quais seriam gradativamente reduzidos, para o desenvolvimento industrial. Além de incentivos financeiros, recomenda-se a elaboração de normas que incitem um maior nível de atividade de pesquisa e desenvolvimento em nível da cadeia produtiva. Estes estímulos devem estar focados nos nichos de mercado onde o país apresenta maiores potencialidade/capacidades. Por fim, destaca-se a importância do estabelecimento de normas, padrões e interoperabilidade compatíveis com as melhores práticas internacionais de forma a possibilitar empresas brasileiras competirem no comércio internacional.

Conclusão

A demanda crescente por energia elétrica e a predominância de fontes renováveis na matriz elétrica tornam as motivações para redes inteligentes no Brasil um pouco distintas daquelas verificadas em países desenvolvidos. Ainda que a flexibilização da demanda tenda a ter importância crescente em função da disseminação de fontes intermitentes, investimentos em redes inteligentes se justificam essencialmente pela necessidade de melhorar a precária qualidade do suprimento, tornar o sistema mais eficiente e possibilitar a redução de perdas não-técnicas.

Contudo, ressalta-se que o arcabouço regulatório vigente não incentiva investimentos na modernização da rede. Logo, os projetos acabam por estar muito restritos a projetos de pesquisa e desenvolvimento, especialmente projetos pilotos.

Desta forma, ressalta-se a necessidade de mudanças regulatórias que incitem inovações e regulamentação de novos negócios. Além disso, a formatação de políticas públicas que estabeleçam, por exemplo, metas no escopo do *roll out* de medidores inteligentes e exigências de padrão de qualidade da infraestrutura de telecomunicações.

Referências Bibliográficas

ABRADEE. *Perdas na distribuição: baixa tensão, altos prejuízos*, 2013. Disponível em: <http://www.abradee.com.br/imprensa/artigos-e-releases/1018-perdas-na-distribuicao-baixa-tensao-altos-prejuizos-reportagem-especial-canal-energia>. Acesso em: 03/08/2016

ANEEL. *Nota Técnica nº 0171/2012 - SRD/ANEEL*, 2012. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2012/079/resultado/nota_tecnica_0171_renato_eduardo_clfsc.pdf. Acesso em: 08/03/2016

ANEEL. *Percentuais Regulatórios das Perdas Técnicas*, 2015. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/arquivos/Excel/Base_Perdas_Internetnov2015_19-11.xlsx. Acesso em: 08/03/2016

ARTHUR, W. B. 'Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events', *The Economic Journal*, 99(394), pp. 116-131, 1989.

BORRÁS, S.; EDQUIST, C. *The Choice of Innovation Policy Instruments*. *Technological Forecasting And Social Change*, [s.l.], v. 80, n. 8, p.1513-1522, out. 2013.

BRANCHER, D. L. *Tarifa Branca e Bandeiras Tarifárias: Visão da ANEEL*, 2014. Disponível em: http://eventos.fecam.org.br/arquivosbd/paginas/1/0.722145001418925779_diego_luis_brancher.pdf. Acesso em: 08/03/2016

CARVALHO, L.; KUPFER, D. *Diversificação Ou Especialização: Uma Análise Do Processo De Mudança Estrutural Da Indústria Brasileira*, *Revista de Economia Política*, 31(4), pp. 618- 637, 2011.

CASSIOLATO, J. E. 'Evolution and Dynamics of the Brazilian National System of Innovation', in Shome, P. & Sharma, P. (eds.) *Emerging Economies*: Springer India, pp. 265-310, 2015.

CEER, Council Of European Energy Regulators. *CEER Benchmarking Report 5.2 on the Continuity of Electricity Supply*, 2015. Disponível em: <https://www.google>.

com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwj89snf4_3LAhWEg5AKHU1JCIEQFggdMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ceer.eu%2Fportal%2Fpage%2Fportal%2FEER_HOME%2FEER_PUBLICATIONS%2FCEER_PAPERS%2FElectricity%2FTab4%2FC14-EQS- Acesso em: 08/03/2016

COWAN, R.; HULTÉN, S. *Escaping Lock-In: The Case Of The Electric Vehicle*. Technological Forecasting And Social Change, [s.l.], v. 53, n. 1, p.61-79, set. 1996.

DANTAS, G. *Alternativas de Investimento do Setor Sucroenergético Brasileiro para Aproveitamento de Bagaço e de Palha*. [Tese de Doutorado]. PPE/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2013.

DAVID, P. A. 'Why Are Institutions The 'Carriers Of History'?: Path Dependence And The Evolution Of Conventions, Organizations And Institutions', Structural change and economic dynamics, 5(2), pp. 205-220, 1994.

DI SANTO, K. G. *et al. Transforming the Energy Sector: The Evolution of Technological Systems in Renewable Technology*. Industrial and Corporate Change, 13: 5: 815-849, 2004.

EPE. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2024*, 2015. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PDEE/Relat%C3%B3rio%20Final%20do%20PDE%202024.pdf>. Acesso em: 08/03/2016

EPE. *Estudos da Demanda de Energia: Nota Técnica DEA 13/15*. Esplanada Dos Ministérios, 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>>. Acesso em: 08/03/2016

ERLINGHAGEN, S., MARKARD, J. *Smart Grids and the Transformation of The Electricity Sector: ICT Firms as Potential Catalysts for Sectoral Change*. Energy Policy, 51: 895-906, 2012.

FREEMAN, C.; SOETE, L. *A Economia da Inovação Industrial*. Editora Unicamp, Campinas, (1997), 2008.

GALO, J. J. M. *et al. Criteria For Smart Grid Deployment In Brazil By Applying The Delphi Method*. Energy 70, 605 – 611, 2014.

GEELS, F. W. *Technological Transitions and System Innovations : A Co-Evolutionary and Socio-Technical Analysis*. Cheltenham, UK ; Northampton, MA: Edward Elgar, 2005.

GEELS, F. W. 'A Socio-Technical Analysis of Low-Carbon Transitions: Introducing the Multi-Level Perspective into Transport Studies', *Journal of Transport Geography*, 24, pp. 471-482, 2012.

GIORDANO, V., FULLI, G. *A Business Case for Smart Grid Technologies: A Systemic Perspective*. *Energy Policy*, 40: 252–259, 2012.

IBGE. *Séries Estatísticas*, 2015. Disponível em: <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=ST46>. Acesso em: 08/03/2016

IEA, International Energy Agency, 2014. *Technology Roadmap: Smart Grids*. IEA. Paris, 2011.

IEA, International Energy Agency, 2011. *World Energy Outlook 2014*. IEA. Paris, 2014.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Working Group III. Genebra, 2014.

IRENA, International Renewable Energy Agency. *Renewable Energy Capacity Statistics 2015*. Emirados Árabes Unidos, 2015.

JACOBSSON, S.; BERGEK, A. *Transforming the Energy Sector: The Evolution of Technological Systems in Renewable Technology*. *Industrial and Corporate Change*, 13: 5, 815-849, 2004.

KOICA. *Ex-Post Evaluation Report for Three Electric Transmission and Distribution Projects*, 2012. Disponível em: <http://www.oecd.org/derec/korea/Ex-Post-Evaluation-Report-for-the-Three-Electric-Transmission-and-Distribution-Projects.pdf>. Acesso em: 08/03/2016

KRAFT, M. E., FURLONG S. R. *Public Policy*. Politics, Analysis, and Alternatives. 4th edition, SAGE, CQ Press, 2013.

LACERDA, A. C. de and LOURES, R. 'Para o Brasil Evitar o Risco da Desindustrialização', in Barbosa, N., Marconi, N., Pinheiro, M.C. & Carvalho, L. (eds.) *Indústria e desenvolvimento produtivo no Brasil*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

LIN, C. et al. *A Comparison of Innovation Policy in the Smart Grid Industry Across the Pacific: China and the USA*. *Energy Policy*, [s.l.], v. 57, p.119-132, jun. 2013.

LUTHRA, S., KUMAR, S., KHARB, R., ANSARI, F. Md., SHIMMI, S. L. *Adoption of Smart Grid Technologies: An Analysis of Interactions Among Barriers*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33: 554-565, 2014.

MAH, D. *et al. Governing The Transition Of Socio-Technical Systems: A Case Study Of The Development Of Smart Grids In Korea*. *Energy Policy*, [s.l.], 45, 133-141, 2012.

MARKARD, J.; TRUFFER, B. *Technological Innovation Systems And The Multi-Level Perspective: Towards An Integrated Framework*. *Research Policy* 37, 596 – 615, 2008.

MCTI, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação; SEPED, Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento; CGMC, Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima. *Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil*. Brasília, 2013.

MME, Ministério de Minas e Energia. *Resenha Energética Brasileira*. Esplanada Dos Ministérios - Bloco U - 5º Andar 70. Ministério de Minas e Energia, 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/1732840/Resenha+Energ%C3%A9tica+-+Brasil+2015.pdf/4e6b9a34-6b2e-48fa-9ef8-dc7008470bf2>>. Acesso em: 08/03/2016

MME, Ministério de Minas e Energia; EPE, Empresa de Pesquisa Energética. (2015a). *Balanço Energético Nacional – Relatório Síntese – Exercício de 2014*, 2015

MME, Ministério de Minas e Energia; EPE, Empresa de Pesquisa Energética. (2015b). *Plano Decenal de Expansão de Energia 2024*, 2015.

NELSON, R.R. *As Fontes do Crescimento Econômico*. Editora Unicamp, Campinas, (1996), 2006.

OECD. *OECD.Stat*, 2016. Disponível em: <https://stats.oecd.org/index.aspx?queryid=60702>. Acesso em: 08/03/2016

NOS, Operadora Nacional do Sistema. *Apresentação de Power Point de Francisco José Arteiro de Oliveira*, 2015.

PINTO JUNIOR, H. Q.; *et al. Economia da Energia: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial*. Rio de Janeiro; Elsevier, 2007.

SOLOMON, B.D.; KRISHNA, K. *The Coming Sustainable Energy Transition: History, Strategies, And Outlook*. Energy Policy 29, 7422 – 7431, 2011.

SOUSA, H. *Utilização De Programas De Reação Da Demanda Como Alternativa À Necessidade De Geração Termelétrica Complementar Para Garantia Do Suprimento De Energia Elétrica*. Brasília: Universidade de Brasília, 2013. Disponível em: http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/16398/1/2013_HelderWilsonAmadeSousa.pdf. Acesso em: 08/03/2016

STRUNZ, S. *The German Energy Transition As A Regime Shift*. Ecological Economics, Leipzig, 100, 150–158, 2014.

SUNG, B., SONG, W-Y. *Causality Between Public Policies and Exports of Renewable Energy Technologies*. Energy Policy, 55: 95–104, 2013.

TOFT, M. B., SCHUITEMA, G., THØGERSEN, J. *Responsible Technology Acceptance: Model Development and Application to Consumer Acceptance of Smart Grid Technology*. Applied Energy, 134: 392-400, 2014.

UNEP, United Nations Environment Programm. *The Emissions Gap Report 2014 – A UNEP Synthesis Report*. Nairobi, 2014.

UNRUH, G. C. 'Understanding carbon lock-in', Energy Policy, 28(12), pp. 817-830, 2000.

7

Políticas ‘Impositoras’ de Tecnologia e a Difusão de Redes Inteligentes no Brasil

Caetano C. R. Penna

Resumo

Este capítulo analisa aspectos estruturais do setor elétrico brasileiro e as políticas públicas – existentes e potenciais – para promover a difusão de redes inteligentes de energia elétrica à luz da literatura sobre políticas ‘impositoras’ de tecnologia (PIT). Enquanto uma PIT bem especificada para as características do setor de distribuição de energia elétrica no Brasil tem o potencial de acelerar a difusão de redes e medidores inteligentes, beneficiando distribuidores e consumidores, jogos estratégicos entre as firmas estabelecidas e o regulador (no caso, a Aneel), no ambiente institucional (sociopolítico), e as disputas competitivas entre essas próprias empresas, no ambiente econômico, poderiam atrasar o processo de difusão ou mesmo impedir completamente que uma iniciativa PIT seja bem sucedida. De fato, enquanto a disputa no ambiente institucional já ocorre no Brasil, questões competitivas ainda são latentes na indústria no que tange ao uso e difusão de redes inteligentes de energia elétrica. Isto se deve, ao menos em parte, pelo fato de as regulações existentes e propostas serem apenas ‘fracamente’ impositoras de tecnologias, pois não se adequam totalmente às características conceituais de uma política impositora de tecnologia.

Introdução

Este capítulo¹ discute aspectos estruturais do setor elétrico brasileiro e as políticas públicas – existentes e potenciais – para promover a difusão de redes inteligentes de energia elétrica à luz da literatura sobre políticas ‘impositoras’ de tecnologia (PIT). Tais políticas podem ser definidas como “aquelas que determinam que empresas atendam a padrões de desempenho que vão além das capacidades técnicas existentes na indústria ou que adotem tecno-

¹ Agradeço os comentários de Guilherme de Azevedo Dantas e Pedro Ninô de Carvalho a uma versão preliminar deste capítulo – opiniões, erros e omissões são de minha inteira responsabilidade.

logias específicas que não foram totalmente desenvolvidas [no momento da aprovação da política]...” (LEE *et al.*, 2010, p. 249). Embora alguns especialistas questionem a eficácia e eficiência econômica (custo-benefício) de políticas impositoras de tecnologia (JAFFE *et al.*, 2003; BANSAL; GANGOPADHYAY, 2005), a justificativa por trás de sua adoção é a percepção de falta de demanda por atributos técnicos (ou por produtos inovadores) que tratam de um problema societal e, portanto, tecnologias que têm esses atributos (e/ou satisfazem critérios de desempenho) não são fornecidas pela indústria. Em outras palavras, PITs são estabelecidas como substitutas para a falta de demanda efetiva, que poderia induzir investimentos em P&D e inovação com o intuito de desenvolver soluções tecnológicas para problemas sociais.

Vários estudos de caso analisaram o sucesso ou fracasso de PITs, particularmente na indústria automobilística (normas para níveis de emissões, segurança e eficiência energética) e no setor de produção de energia elétrica (normas para níveis de emissões) em economias industrializadas (principalmente nos EUA). No entanto, não há estudos que tenham analisado o (potencial ou real) uso de políticas impositoras de tecnologia em países em desenvolvimento, nem o uso de tais políticas para promover a adoção de uma tecnologia de distribuição de energia (no caso, redes de distribuição e medidores de consumo de energia elétrica inteligentes).

Assim, este capítulo contribui empiricamente para o estado da arte da literatura sobre política impositoras de tecnologia, discutindo: (a) as questões conceituais que precisam ser consideradas quando um regulador estabelece e implementa uma PIT; (b) as características do setor elétrico brasileiro no que tange suas estruturas de oferta e demanda e as implicações para a difusão de redes e medidores inteligentes; e (c) a forma como as políticas existentes e propostas para a difusão de redes e medidores inteligentes no Brasil podem ou não representar um tipo de política impositora de tecnologia.

O capítulo conclui sobre como essas questões conceituais e as características do setor elétrico brasileiro poderiam levar a (ou impedir) o sucesso de uma estratégia de política impositora de tecnologia para a difusão de redes inteligentes. Enquanto uma PIT bem especificada para as características do setor de distribuição de energia elétrica no Brasil tem o potencial de acelerar a difusão de redes e medidores inteligentes, beneficiando distribuidores e consumidores, jogos estratégicos entre as firmas estabelecidas e o regulador (no caso, a Aneel), no ambiente institucional (sociopolítico), e as disputas competitivas entre essas próprias empresas, no ambiente econômico, poderiam atrasar o processo de difusão ou mesmo impedir completamente que uma iniciativa PIT seja bem sucedida. De fato, enquanto a disputa no ambiente institucional já ocorre no Brasil, questões competitivas ainda são latentes na indústria no que tange ao uso e difusão de redes inteligentes de energia elétrica. Isto se deve, ao menos em

parte, pelo fato de as regulações existentes e propostas serem apenas ‘fracamente’ impositoras de tecnologias, pois não se adequam totalmente às características conceituais de uma política impositora de tecnologia.

O capítulo está estruturado da seguinte forma: a seção 1 discute brevemente as estratégias corporativas de gestão de inovação, o que fornece um ponto de partida para a apresentação de conceitos da literatura sobre políticas impositoras de tecnologia. A seção 2 fornece uma visão geral das características da indústria de eletricidade brasileira, e examina como essas características representam fatores que facilitam ou dificultam a difusão de redes inteligentes de eletricidade. A seção 3 analisa o marco regulatório e as políticas (atuais e em discussão) que visam a implantação de redes de transmissão e distribuição inteligentes e a difusão de medidores de consumo inteligentes no Brasil. Por fim, é apresentada a conclusão do estudo com base na discussão das seções anteriores e elaborando implicações para políticas públicas setoriais.

7.1 - Gestão da Inovação e Políticas Impositoras de Tecnologia²

7.1.1 - Conceitos Básicos sobre Inovações e a Gestão da Inovação

Um ponto de partida para a discussão sobre a eficácia das políticas impositoras de tecnologia em transformar invenções em inovações³ é a conceitualização de porquê as empresas inovam e como elas gerenciam o desenvolvimento de tecnologias e inovação. As empresas implantam estratégias de inovação para criar ou assegurar uma vantagem competitiva (que, por exemplo, assegurem maiores quotas de mercado ou maior a rentabilidade), principalmente em resposta ou em antecipação a mudanças no ambiente econômico (mercado) (TIDD *et al.*, 2005). Ao inovar, uma empresa pode converter desafios do seu ambiente de atuação em oportunidades (FRANCIS; BESSANT, 2005). No entanto, o processo de inovação não é nem simples, nem fácil de realizar, pois ocorre sob condições de incertezas (DOSI, 1988; TIDD *et al.*, 2005), as quais são derivadas da necessidade de ser tecnicamente viável, economicamente rentável, socialmente aceitável e legalmente permitido (TUSHMAN; ANDERSON, 1986; NELSON, 1994; GEELS, 2002).

Há muitas maneiras de classificar os tipos de inovação.⁴ Um denominador comum de muitas destas tipologias é a classificação do grau de novidade das inovações (TIDD *et al.*, 2005): inovações podem ser *incrementais* ou *radicais*:

2 Esta sessão se baseia em Penna (2014).

3 Conceitualmente, a diferença primordial entre uma ‘invenção’ e uma ‘inovação’ é de caráter econômico: a invenção é a criação de algo anteriormente não existente, já a inovação é uma invenção que é comercializada no mercado.

4 Para uma revisão de tipologias de inovação, ver Garcia e Calantone (2002).

- *Inovação incremental* são pequenas, contínuas (FREEMAN; PEREZ, 1988) ou ‘evolutivas’ (ABERNATHY; CLARK, 1985) melhorias em produtos ou processos existentes. A inovação incremental é frequentemente o resultado de conhecimentos já existentes derivados da experiência (TIDD *et al.*, 2005) e, portanto, baseia-se em e reforça os elementos centrais de um regime industrial⁵.
- *Inovação radical* são grandes eventos descontínuos ou mudanças “revolucionárias” em produtos ou processos que se afastam de e perturbam os elementos centrais de um regime de indústria. A inovação radical é frequentemente o resultado de processos proativos e deliberados de pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias (FREEMAN; PEREZ, 1988; TIDD *et al.*, 2005).

De todo modo, ressalta-se que, independente do grau de novidade, desenvolver inovações será sempre incerto, porque a probabilidade de sucesso ou fracasso não pode ser calculada de antemão. No entanto, a busca por inovação incremental é uma empreitada menos arriscada do que a busca por uma inovação radical, porque no primeiro caso o desenvolvimento começa a partir de algo já conhecido, enquanto que no caso de inovações radicais, o desenvolvimento envolve a exploração de áreas desconhecidas (TIDD *et al.*, 2005). Empresas já estabelecidas em uma indústria tendem, assim, a favorecer uma estratégia incremental de desenvolvimento tecnológico e de inovações, aderindo a produtos e processos técnicos que elas já conhecem. Portanto, em princípio, inovações radicais e disruptivas tendem a vir de empresas relativamente “estranhas” ou externas à indústria (empresas afastadas ou não aprisionadas ao regime industrial): por exemplo, fornecedores, pequenas empresas, empresas estrangeiras, ou novas empresas (entrantes). Enquanto as empresas estabelecidas têm como objetivo aumentar as barreiras à entrada para possíveis competidores, através do reforço das suas competências, os potenciais entrantes na indústria têm por objetivo alterar as “regras do jogo” (regime industrial) ao desenvolver inovações que tornem as competências das firmas estabelecidas obsoletas (TIDD *et al.*, 2005).

Embora o desenvolvimento de inovações radicais por firmas estabelecidas em resposta a questões societárias seja um processo arriscado e caro, estas empresas podem, sim, reorientar as suas estratégias e regime industrial, e assim

5 Geels (2014) define um “regime industrial” como sendo composto por instituições (“elementos centrais”) que mediam as estratégias corporativas frente a pressões externas nos ambientes institucional e econômico. O autor identifica quatro elementos ou instituições centrais num regime de indústria: (1) a missão, identidade, e normas ou práticas operacionais das empresas na indústria; (2) a mentalidade e crenças (instituições cognitivas) dessas empresas; (3) seu “regime tecnológico” (NELSON; WINTER, 1982) composto por conhecimentos técnicos, competências e capacidades das empresas; e (4) regulações, leis, e normas externamente impostas a essas empresas.

contribuir para solucionar a questão. A reorientação das práticas da indústria e suas instituições – ou dos ‘regimes industriais’ (GEELS, 2014) – é, no entanto, um processo gradual e de longo prazo. Mudanças no regime são suscetíveis de começar com ajustes incrementais em seu elemento técnico (o “regime técnico”), e a recriação completa ou reorientação das instituições e práticas do setor tendem a acontecer apenas se fizer sentido econômico (ou seja, se os consumidores demandarem a solução técnica) e/ou se mudanças na regulamentação do setor acontecerem. No caso de mudanças no ambiente econômico, as empresas buscam a inovação tecnológica para obter vantagem competitiva estratégica e assegurar rendas de monopólio ou extraordinárias (NELSON; WINTER, 1982). No segundo caso, empresas implementam estratégias de inovação também em resposta a mudanças no ambiente sócio-político, como a (real ou potencial) promulgação de novas regulamentações, particularmente aquelas que são impositoras de tecnologia. A importância das mudanças regulatórias para incitar inovações tecnológicas tende a ser maior tão menor seja a propensão da indústria a inovar; isto tende a ocorrer, por exemplo, em indústrias já maduras – como o setor automobilístico americano na segunda metade do século XX – ou em indústrias com características monopolistas – como o setor de eletricidade. De fato, conforme será discutido na seção 7.3, o setor elétrico é um monopólio natural regulado cujo produto é pouco diferenciável e cuja estrutura de demanda tende a ser inelástica, fatores, dentre outros, que leva a uma menor propensão a inovar. Assim, para tal tipo de setor, regulações tendem a ganhar em importância como forma de trazer novas tecnologias ao mercado.

7.1.2 - A Inovação Tecnológica em Resposta a Pressões Regulatórias: uma visão geral da literatura sobre políticas impositoras de tecnologia

O uso estratégico de tecnologias em resposta a pressões regulatórias foi examinado pela literatura sobre políticas impositoras de tecnologia (MILLER, 1995; KEMP, 1997; GERARD; LAVE, 2005; PULLER, 2006; GERARD; LAVE, 2007; LEE *et al*, 2010; TAO *et al*, 2010; LEE *et al*, 2011, dentre outros), que examinou a interação entre as estratégias corporativas que endereçam questões no ambiente econômico e no ambiente institucional (sócio-político). Além de levar a jogos estratégicos entre as empresas no setor regulamentado e os reguladores (YAO, 1988; PULLER, 2006), as PITs também podem desencadear disputas competitivas entre rivais no ambiente econômico (HACKETT, 1995; PULLER, 2006; GERARD; LAVE, 2007).

Políticas impositoras de tecnologia podem ser definidas como “aquelas que determinam que empresas atendam a padrões de desempenho que vão além das capacidades técnicas existentes na indústria ou que adotem tecnologias específicas que não foram totalmente desenvolvidas [no momento da aprovação da

política]...” (LEE *et al.*, 2010, p. 249). A regulamentação para ‘forçar’ ao mercado uma tecnologia, portanto, assume formas diferentes (GERARD; LAVE, 2007): elas podem especificar um padrão de desempenho ou um padrão de tecnologia. No primeiro caso, a norma especifica uma meta de desempenho (por exemplo, níveis máximos de emissão de CO₂; níveis mínimos de eficiência de consumo de combustível), mas não obriga a utilização de qualquer tecnologia específica (ou seja, qualquer tecnologia pode ser usada para cumprir a norma, desde que satisfaça os critérios de desempenho); no segundo caso, a norma exige o desenvolvimento e a adoção de uma tecnologia específica inovadora (a tecnologia ou invenção pode até já existir, mas ainda não é comercializada).

O estabelecimento destas normas pode ser delegado a uma agência reguladora ou incorporado em lei⁶ (GERARD; LAVE, 2007): no primeiro caso, a agência reguladora tem o poder de modificar os níveis de desempenho ou de exigir diferentes tecnologias, mas quando estabelecidas por lei, as normas só podem ser modificadas pelo órgão legislativo responsável (por exemplo, congresso ou parlamento). Não importa a forma particular que a PIT adota: elas representam uma tentativa dos reguladores de abrir um possível aprisionamento (*lock-in*) institucional a um regime de indústria; ou seja, promover a adoção de uma solução tecnológica que se desvia do regime tecnológico existente na indústria.

Embora alguns estudiosos questionem a eficácia e eficiência econômica (custo-benefício) de políticas impositoras de tecnologia (JAFFE *et al.*, 2003; BANSAL; GANGOPADHYAY, 2005), a justificativa por trás de sua adoção é a percepção de falta de demanda por atributos técnicos (ou produtos inovadores) que tratem de um problema societal, e, assim, a tecnologia que tem esses atributos (e/ou satisfaça critérios de desempenho) não é ofertada pela indústria: “os consumidores podem subestimar sistematicamente a eficácia ou o valor desses atributos [ou produtos]... [...] A justificativa para instituir uma política impositora de tecnologia é que o resultado preferido do governo ou regulador é uma solução tecnológica [vs., por exemplo, soluções comportamentais] ao problema que só pode ser provocada pela aplicação de pressão regulatória sobre as empresas” (GERARD; LAVE, 2007, p. 3). Em outras palavras, as políticas são decretadas como substituto para a demanda efetiva do consumidor que poderia induzir investimentos em P&D para o desenvolvimento de soluções tecnológicas a problemas societais.

No entanto, a conexão entre PITs e o aumento de investimentos em P&D e inovação tecnológica não é direta: “A fase de implantação do processo de impor a tecnologia é mais complicada do que a teoria sugere” (GERARD; LAVE, 2005, p 765). Forças compensatórias mediam essa relação e leva a jogos dinâmicos entre

6 Note-se que, mesmo se estabelecida por lei, uma agência reguladora é geralmente responsável pela aplicação e implantação da norma.

as empresas concorrentes em uma indústria, entre estas e empresas de fora da indústria (entrantes), e entre a indústria como um todo e o organismo regulador:

1. As empresas já estabelecidas reguladas têm um incentivo para *umentar os investimentos em P&D e em inovação a fim de reduzir os custos de conformidade com a PIT*: como o custo de P&D é em si mesmo um desincentivo para inovar⁷, em princípio “as firmas terão custos mais baixos se os regulamentos não forem aplicados... Portanto, pode ser do interesse da empresa (ou da indústria coletivamente) pressionar os reguladores para atrasar ou rescindir a norma” (GERARD; LAVE, 2005, p. 764). No entanto, se a regulamentação não puder ser impedida, então investir em P&D *na expectativa* de que uma PIT será implantada pode acelerar o processo de aprendizagem da empresa e reduzir as incertezas financeiras e técnicas que cercam o desenvolvimento de inovação tecnológica, e, em última instância, reduzir os custos de conformidade com a norma (LEE *et al.*, 2010).
2. Para as empresas já estabelecidas (em particular), o *risco de pedidos de indenização judiciais representam um desincentivo a investir em P&D e inovação*: dadas as incertezas relativas à confiabilidade, eficácia e consequências não-intencionais da adoção de uma nova tecnologia, o risco de enfrentar processos de responsabilidade em caso de falhas tecnológicas representa um desincentivo para as empresas inovarem (GERARD; LAVE, 2007). As empresas em uma indústria regulamentada podem, assim, decidir tomar medidas legais e contestar a PIT na justiça, se elas acreditarem que nenhuma tecnologia pode cumprir o regulamento ou que a política exige uma tecnologia não comprovada e arriscada.
3. A possibilidade de *entrar em um novo domínio de mercado* fornece um incentivo para empresas de fora da indústria aumentarem seus investimentos em P&D e inovação (GERARD; LAVE, 2007; LEE *et al.*, 2010): a PIT fornece um ponto de entrada para empresas de fora do núcleo central da indústria, como fornecedores, entrantes ou concorrentes estrangeiros, que queiram diversificar o seu domínio do mercado. Mesmo antes de uma política impositora de tecnologia ser promulgada, pode-se esperar que esses atores externos já aumentem os esforços em P&D para demonstrar a viabilidade tecnológica e, assim, influenciar o processo de decisão política. No entanto, porque “novas ideias são mais propensas a terem sucesso com o apoio e liderança de um ou mais dos principais jogadores [empresas estabelecidas]” (DYERSON; PILKINGTON, 2005, p. 406), no final do processo de implantação da PIT esses novos entrantes têm um incentivo para buscar parceria

7 A possibilidade de que conhecimento e avanços tecnológicos transbordem para concorrentes que não investem em P&D (*free-riders*) é outro desincentivo à inovação (GERARD; LAVE, 2007).

com empresas incumbentes. De igual modo, as incumbentes podem estar dispostas a estabelecer essa parceria com novas empresas se preveem benefícios sinérgicos para si. A cooperação é, portanto, esperada na medida em que o processo de implantação da PIT avança.

4. A possibilidade de *umentar os custos dos rivais* representa um incentivo para que as empresas já estabelecidas *umentem os investimentos em P&D e inovação*: uma empresa individual pode inovar e, em última instância, ajudar a promover uma regulamentação se ela acredita ter uma vantagem técnica e de custo sobre os concorrentes no cumprimento da PIT. “Empresas incumbentes podem se beneficiar de regulamentos [...] que impedem a entrada ou [que aumentem] os custos de algumas empresas mais do que de outras” (PULLER, 2006, p. 692). Assim, as empresas reguladas não são simplesmente “tomadoras de regulamentos”: através do cumprimento de um PIT uma empresa pode ser capaz de influenciar o seu conteúdo (GERARD; LAVE, 2007), especialmente quando o conteúdo detalhado da PIT não foi estabelecido por lei e é delegado a uma agência reguladora. Tal estratégia das incumbentes visa garantir uma vantagem inédita sobre seus rivais (*first-mover advantage*), por exemplo, transformando uma tecnologia (sobre a qual a empresa tem uma vantagem competitiva) em padrão ou norma *de facto*.
5. Por fim, a possibilidade de *esvaziar a regulação* (ou “*minar a credibilidade do o regulador*”), fornece um incentivo para que todas as empresas incumbentes em uma indústria não invistam em P&D e inovação: para a PIT ser eficaz, sanções devem existir em caso do não cumprimento da norma e, mais importante, as empresas reguladas devem acreditar que estas sanções serão efetivamente aplicadas (LEE *et al.*, 2010; GERARD; LAVE, 2007). No entanto, mesmo se as empresas estabelecidas acreditarem que a política será aplicada, pode haver um incentivo para não desenvolverem uma tecnologia e afirmarem que não é viável cumprir a regulamentação, a fim de defender seus investimentos irrecuperáveis e ativos complementares. Além disso, o desenvolvimento de uma tecnologia não é um processo determinista, e pode acontecer que nenhuma solução tecnológica seja estabelecida mesmo que a indústria invista em P&D. Portanto, PITs geralmente incluem uma cláusula que cancela ou posterga a legislação em caso de nenhum avanço tecnológico ser alcançado mesmo depois de esforços de “boa-fé” para estabelecê-lo. Assim, a indústria pode estrategicamente reter investimentos em P&D para esvaziar a PIT (PULLER, 2006) e forçar revisão ou cancelamento da mesma. Cabe ao órgão regulador (ou aos legisladores) determinar se um esforço de boa-fé foi mesmo feito ou não. A implantação de um PIT é, portanto, complicada por causa de assimetrias de informação entre as empresas e os reguladores com relação a desenvolvimentos tecnológicos:

Quando existe uma assimetria de informações, as empresas podem tentar forçar um atraso na regulamentação ao deliberadamente não cumprir a norma... Colusão ativa não é necessária para atingir este resultado. Por exemplo, uma empresa que acredite que nenhuma outra empresa (ou um potencial entrante) possa cumprir as normas irá reduzir de forma autônoma o seu esforço de P&D. Se cada empresa tem tal expectativa, então as expectativas serão autorrealizáveis. (GERARD; LAVE, 2005, p. 764)

Para avaliar se as normas de desempenho ou tecnológicas são viáveis, a agência reguladora pode investir na obtenção de suficiente perícia técnica própria para diminuir as assimetrias de informação (LEE *et al.*, 2010), ou pode buscar fontes externas de informação (GERARD; LAVE, 2007): agentes de fora da indústria e empresas que procuram aumentar os custos para os concorrentes têm um incentivo para compartilhar informações com o regulador para garantir que a PIT seja efetivamente implantada, de modo que o “efeito de elevação dos custos dos concorrentes” interage com o “efeito de esvaziar a legislação e minar a credibilidade do regulador” (PULLER, 2006). Durante a fase de implantação há, portanto, uma dinâmica contraditória entre o aumento dos custos dos concorrentes (atuar sozinha) e esvaziar a regulação (coletivamente).

Em resumo, esta “conceitualização” da literatura sobre políticas impositoras de tecnologia implica que: (a) as empresas já estabelecidas tendem a primeiro pressionar o regulador contra a PIT, dada a sua resistência em investir na inovação radical, e dada a possibilidade de que a tecnologia exigida pela política destrua suas competências ou ativos existentes; (b) empresas de fora da indústria tentarão aproveitar a oportunidade que a PIT estabelece (criação de um novo domínio de mercado), e, assim, tentarão influenciar o processo de regulamentação, seja através de *lobby*, seja colaborando com os decisores políticos e reguladores em favor da PIT; (c) se a PIT for promulgada, as empresas já estabelecidas podem promover uma ação legal para contestar a legislação judicialmente, dado o risco de pedidos de indenização; (d) se o caminho judicial falhar, incumbentes terão de correr atrás dos desenvolvimentos tecnológicos de empresas de fora e, assim, podem buscar por meio de *lobby* o atraso da implantação da PIT ou esvaziá-la completamente ocultando informações dos órgãos reguladores; por fim, (e) em algum ponto no processo de implantação, as empresas já estabelecidas (ou uma coligação de incumbentes ou de incumbentes com novas entrantes) podem tentar afastar-se do regime da indústria e desenvolver uma solução tecnológica mais radical própria para elevar os custos dos concorrentes ou para bloquear a entrada de empresas de fora do regime, acelerando, assim, a adoção da inovação. Cabe ressaltar que investimentos em P&D por parte de empresas estabelecidas tendem a ocorrer em paralelo aos processos a-d, como estratégia proativa que procura antecipar eventuais mudanças na estrutura de demanda ou

regulatórias (PENNA, 2014). Voltaremos a esses fatos estilizados na conclusão para examinar como as características do setor elétrico brasileiro e das políticas existente e propostas podem levar a (ou prevenir) a difusão de redes inteligentes de eletricidade.

7.2 - O Setor Elétrico Brasileiro

Esta seção discute aspectos selecionados do setor elétrico brasileiro⁸: sua estrutura de oferta e demanda e como essas características podem ser um fator a facilitar ou dificultar a difusão de redes e medidores inteligentes no Brasil.

A atual estrutura do setor elétrico brasileiro começou a tomar forma em meados dos anos 1990, quando o Ministério de Minas e Energia começou a implantar reformas estruturais que tiveram como base a “conceitualização” do papel do Estado como regulador. A cadeia de valor da indústria foi segmentada, com empresa distintas sendo responsáveis por geração, transmissão e distribuição de eletricidade. Em paralelo, a maioria das empresas de distribuição anteriormente estatais foi privatizada. A partir do primeiro governo do presidente Luís Inácio Lula da Silva, três vetores fundamentais moldaram a evolução do setor: segurança energética; universalização da oferta; e modicidade tarifária. Como resultado destes processos, o setor elétrico brasileiro pode ser descrito como exibindo as seguintes características (TOLMASQUIM, 2011; ABRADÉE, 2016):

- Segmentação do setor, com empresas distintas que atuam na geração, transmissão e distribuição de eletricidade;
- Coexistência de empresas públicas e privadas, com uma prevalência das últimas, particularmente no setor de distribuição;
- Criação de uma agência reguladora para o setor, a Aneel;
- Planejamento e operação centralizado do sistema através de autarquias públicas ou quasi-públicas;
- Regulamentação das atividades de transmissão e distribuição por meio de um *regime de incentivos*, ao invés de um regime baseado no *custo do serviço*. Em particular, os aumentos nas tarifas de eletricidade dependem de um indicador de “qualidade de serviço” (em termos de frequência e duração de interrupções de fornecimento);
- Regulação da atividade de geração para projetos mais antigos (desde 2012-3);

⁸ Ver capítulo 6 deste volume para uma análise detalhada do setor elétrico brasileiro e o desenvolvimento de redes inteligentes no Brasil a partir da lente teórica da chamada “Perspectiva Multinível”.

- Concorrência no setor de geração para novos projetos (através de leilões competitivos);
- Coexistência de consumidores cativos e “livres”;
- Negociações competitivas para determinação de oferta e preços, entre geradores, comercializadores e consumidores livres;
- Leilões regulados de contratação de energia para as distribuidoras que fornecem energia para os consumidores cativos. Criação de leilões específicos para fontes de energia renováveis;
- Preços da eletricidade (como uma *commodity*) separados das tarifas de uso da rede;
- Preços diferentes para cada área de concessão, substituindo o princípio anterior de “equalização tarifária” (que exigia pesados subsídios);
- Mecanismos de regulação contratuais para a partilha de ganhos de produtividade no setor de distribuição.

Além disso, como uma contrapartida para o processo de privatização, criou-se um fundo setorial de recursos para P&D (pago pelo consumidor como encargos ao consumo de energia elétrica), determinado por lei, que também estabeleceu que as empresas do setor têm de dedicar uma percentagem da sua receita a investimentos de P&D e inovação (tal arcabouço é conhecido como “Programa de P&D da Aneel”).⁹ Esta foi uma tentativa de aumentar a propensão para inovar da indústria de energia elétrica, que não exhibe dinâmicas endógenas que levem à busca pela inovação: o setor apresenta características de um monopólio natural (que não é propenso à inovação, uma vez que rendas extraordinárias podem – em teoria – ser obtidas sem a necessidade de estratégias de inovação, o que leva, na prática, à necessidade de se estabelecer regulações que evitem práticas abusivas); é também intensivo em capital, com investimentos pesados que precisam ser recuperados no longo prazo (enquanto inovações tenderiam a fazer esses investimentos obsoletos antes de serem recuperados). Além disso, a eletricidade é um produto homogêneo (*commodity*), de modo que não há quase nenhuma oportunidade para diferenciação do produto – inovações, se acontecem, tendem a ser inovações de *processo* para a indústria, mesmo se elas tomem a forma de produtos para o consumidor final (por exemplo, medidores inteligentes). Por fim, tecnologias alternativas (por exemplo, de baixo-carbono) para a produção de eletricidade tendem a apresentar uma maior relação preço-desempenho quando comparadas com as tecnologias convencionais.

9 Em 2004, um decreto presidencial (5.025) estabeleceu ainda o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), também financiado através de encargos ao consumidor, cujo objetivo foi o de aumentar a participação da energia elétrica de fontes renováveis como eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) na matriz nacional de eletricidade.

Como resultado, a dinâmica do mercado, em geral, não favorece a difusão de novas tecnologias, mesmo que sejam mais eficazes e sustentáveis. Em suma, por um lado, o setor de eletricidade, em geral, não é propenso a inovações, tais como redes inteligentes, por outro lado, o marco regulatório brasileiro inicialmente estabelecido determina investimentos obrigatórios em P&D e inovação. No entanto, não há regra determinando em que tecnologias as empresas devem investir – elas são livres para investir, por exemplo, em P&D que promova a eficiência energética de velhas tecnologias, intensivas em carbono (uma inovação incremental que leva a uma diminuição das emissões de CO₂), ou para investir em novas tecnologias de baixo-carbono (inovações radicais). Assim, tudo mais constante, seria de se esperar que as empresas de energia elétrica no Brasil não tenham incentivos para fazer investimentos que tornem as redes de transmissão e distribuição existentes obsoletas – ou seja, para investirem no desenvolvimento e difusão de redes inteligentes – não obstante a existência do programa de P&D da Aneel. Tal asserção é complicada pela existência de outros fatores contraditórios que trazem impacto potencial sobre a difusão de redes inteligentes, sobretudo medidores inteligentes no Brasil. No lado negativo, isto é, fatores que impedem a difusão de contadores inteligentes, temos:

- a) A economia brasileira é caracterizada por baixa renda per capita e desigualdade, o que resulta em uma capacidade limitada de consumidores individuais em pagarem por serviços de utilidade pública e, portanto, pouca oportunidade para as empresas repassarem o custo dos investimentos em redes e medidores inteligentes;
- b) A economia exibe uma intensidade relativamente alta em energia, de modo que, de um ponto de vista da economia política, há uma necessidade de manter os preços de energia baixos, de modo a promover a competitividade de certos setores, especialmente daqueles que contribuem para exportações (por exemplo, mineração e agricultura);
- c) Medidores inteligentes requerem investimentos em tecnologias complementares, tal como infraestrutura de comunicações. No entanto, o Brasil tem uma infraestrutura de comunicação precária; ainda estar por ser definido se tais investimentos de melhoria da infraestrutura devem ser efetuados por empresas de eletricidade ou pelo Estado; e
- d) A regulação e o programa de incentivo à inovação no setor não incita e, por vezes, sequer reconhece investimentos na modernização da rede de energia elétrica.

No lado positivo, isto é, fatores que podem ajudar a promover a difusão de redes e medidores inteligentes no Brasil, temos:

- e) Desde 2003, houve um retorno às políticas industriais ativas, com o objetivo de promover a participação dos setores de alta tecnologia na economia e fazer do Brasil um “produtor” (vs. “importador”) de tecnologias. Isto cria uma oportunidade para a cadeia de valor de redes e medidores inteligentes, pois é um setor de alta tecnologia que poderia ser promovido a fim de ajudar o Brasil a atingir esse objetivo;
- f) A pressão global e nacional pela sustentabilidade ambiental das economias e por políticas proativas para mitigar as mudanças climáticas criam uma oportunidade para a difusão de redes e medidores inteligentes, que são tecnologias propícias para a difusão de tecnologias de geração de energia limpa;
- g) Redes e medidores inteligentes podem ajudar o Brasil a diversificar a sua matriz de geração de energia elétrica, atualmente dominada por usinas hidrelétricas de grande porte; e,
- h) Por fim, o setor elétrico brasileiro apresenta duas características particulares do lado da demanda: um elevado nível de perdas “não-técnicas”, isto é, elevado nível de fraude (roubo) de eletricidade em certas áreas geográficas. Isto se junta a um elevado número de longas interrupções do fornecimento de eletricidade.

São estes fatores finais (perdas não-técnicas e baixa qualidade da oferta) que, para certas distribuidoras, têm sido os principais fatores econômicos contribuindo para a promoção de projetos pilotos de implantação de redes inteligentes e de difusão de medidores inteligentes no Brasil, cujos investimentos são, na sua maioria, parte do programa de P&D da Aneel.¹⁰

Enquanto o fator econômico é importante para a promoção de projetos-piloto no âmbito do programa de investimentos obrigatórios em P&D da Aneel, dados a baixa propensão do setor em geral para inovar e os fatores “negativos” que tendem a impedir a difusão de redes e medidores inteligentes, pode-se conjecturar que seja necessária estabelecer regulamentação específica, a fim de promover eficazmente a difusão generalizada das redes e medidores inteligentes. Neste sentido, ressalta-se que o Brasil tem políticas em vigor que visam promover tal difusão, bem como outras propostas de políticas que estão sob consideração.

7.3 - O Marco Regulatório Brasileiro para a Difusão de Redes e Medidores Inteligentes

O marco regulatório brasileiro para a difusão de redes e medidores inteligentes pode ser dividido em leis que exigem certos investimentos públicos

¹⁰ O Capítulo X deste volume apresenta de forma mais detalhadas exemplos destes projetos-piloto.

ou privados, que são promulgadas pelo Congresso e implementados por autarquias públicas (como Aneel) ou ministérios, e em resoluções normativas (regras e normas) definidas pela Aneel. Conforme argumentado a seguir, tais regulações – sejam as (propostas de leis), sejam as resoluções normativas – podem ser caracterizadas como ‘fracamente’ impositoras de tecnologias, pois não se adequam totalmente às características conceituais de uma política impositora de tecnologia.

Em relação às normas da Aneel, as seguintes são de maior relevância para as redes inteligentes:

- 502/2012: esta resolução normativa regulamenta os sistemas de medição de eletricidade de unidades consumidoras pertencentes ao grupo de consumidores do tipo B (baixa tensão), que incluem consumidores individuais urbanos e rurais, pequenos consumidores comerciais e industriais, além da iluminação pública. Apesar de não se referir explicitamente a “medidores inteligentes”, a resolução define certas características do dispositivo de medição de energia elétrica que teria de ser adotado (em um período de até 18 meses desde a sua publicação), que poderiam ser efetivamente vistas como configurando medidores inteligentes – por exemplo, informações sobre os níveis de consumo e custos ou padrões para comunicação remota (transferência de dados) do sistema (incluindo requisitos de segurança de dados). O prazo para a instalação desses medidores era março de 2014, no entanto, em fevereiro 2014 a Aneel decidiu por indefinidamente adiar a exigência, devido a uma suposta falta de medidores inteligentes para abastecer o mercado brasileiro e à ausência de um padrão técnico para tais medidores (além de outras questões regulatórias). O adiamento veio depois de uma audiência pública em que as empresas já estabelecidas foram diretamente representadas ou representadas por associações de classe, que apresentaram contribuições defendendo a revogação da medida, devido a problemas técnicos (falta de padronização) e questões regulatórias (novos procedimentos tarifários para as unidades com medidores inteligentes e novos indicadores de qualidade para áreas com unidades com medidores inteligentes).
- 482/2012: esta resolução normativa (em vigor) estabelece as condições gerais para o acesso de micro-geração distribuída e mini-geração aos sistemas de distribuição de energia e para o sistema de compensação de energia. Cabe ressaltar que enquanto a resolução 502 trata explicitamente de medidores inteligentes, esta resolução (482) versa apenas sobre adequação do sistema de medição, não sendo um requerimento específico a instalação de medidores inteligentes. Neste caso, a necessidade de medidor inteligente só ocorria se houvesse preços de energia que variem (diferentes postos

tarifários). Assim, a decisão de se instalar medidores inteligentes para atender à resolução seria discricionária. Ainda que não seja diretamente focada nas redes inteligentes, a resolução estabelece que os custos de instalação de novos dispositivos de medição serão cobertos pela “parte interessada”, sem definir se a parte interessada é o distribuidor ou o consumidor (há uma ambiguidade na norma). No entanto, está explícito que os custos de manutenção e de substituição devem ser cobertos pela concessionária de distribuição.

- 375/2009: esta resolução normativa regula o uso de redes de distribuição de energia elétrica para a transmissão de dados de comunicações digitais ou analógicos. É, portanto, uma legislação complementar para a implantação de redes inteligentes.

Em relação às leis, neste momento elas ainda estão em discussão no Congresso. De relevância são as seguintes propostas que buscam promover a ampla difusão de redes inteligentes no Brasil:

- 84/2012: a proposta de lei está atualmente em discussão no Senado brasileiro. Ela estabelece as diretrizes para a implantação de redes inteligentes em sistemas de distribuição de energia elétrica, operadas por concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica. As principais medidas do projeto de lei são: (a) o estabelecimento de um período de oito anos para as concessionárias e permissionárias de energia elétrica transformarem seus sistemas de distribuição de energia em redes inteligentes; (b) definição do que é uma “rede inteligente”: um conjunto de linhas e equipamentos do sistema de distribuição de energia, cujo comando e controle é feito com o uso da tecnologia digital da informação, e cuja aprovação permite o fornecimento de novos serviços ao consumidor e da melhoria dos serviços existentes; (c) permissão para que os consumidores gerarem sua própria eletricidade, desde que notifiquem a concessionária ou licenciada com pelo menos seis meses de antecedência, e para repassarem qualquer excedente para a rede; e (d) permissão, após cinco anos da publicação da lei, para que cada novo consumidor compre eletricidade no mercado livre. Além disso, o projeto de lei limita o impacto sobre as tarifas para a substituição de medidores de consumo em 2%. No entanto, o projeto de lei (1) não determina quem vai fazer os principais investimentos para a implantação de redes inteligentes ou se os recursos viriam do fundo setorial de P&D, por exemplo; e (2) não estabelece sanções para a não-implantação de redes inteligentes.
- 3337/2012: a lei sob consideração na Câmara de Deputados Federal exige a substituição de medidores mecânicos por medidores inteligentes no prazo

de dez anos a partir da publicação da lei. Também determina que as concessionárias são responsáveis por criar a rede de comunicações complementar. Além disso, permite a auto-geração de energia elétrica por pequenos consumidores e determina que os excedentes gerados por estes consumidores sejam obrigatoriamente adquiridos pela concessionária (até um certo limite máximo a ser definido pela agência reguladora). A lei, no entanto, não estabelece sanções para a não-implantação de medidores inteligentes.

Conclusão

Este capítulo discutiu o processo de implantação e difusão de redes inteligentes de energia elétrica e medidores inteligentes de consumo de eletricidade no Brasil à luz da literatura sobre políticas impositoras de tecnologia (PIT). A Seção 1 discutiu conceitos sobre gestão da inovação e a literatura sobre PITs. Relativamente à primeira, uma percepção conceitual importante é que as inovações radicais ou disruptivas tenderiam a ser desenvolvidas por empresas de fora da indústria, a menos que faça sentido econômico para as empresas estabelecidas investirem na inovação radical. Normalmente, este fator econômico estaria relacionado com o objetivo de assegurar “rendas de monopólio”.

A Seção 1 também apresentou os seguintes processos conceituais derivados da literatura sobre PITs:

1. As empresas já estabelecidas reguladas teriam um incentivo para aumentar os investimentos em P&D e inovação a fim de reduzir os custos de conformidade com a PIT;
2. Para as empresas já estabelecidas, o risco de pedidos de indenização representa um desincentivo ao investimento em P&D e inovação para atender a PIT;
3. A possibilidade de entrar em um novo domínio de mercado fornece um incentivo para empresas de fora da indústria aumentarem os investimentos em P&D e inovação;
4. A possibilidade de aumentar os custos dos rivais representa um incentivo para que as empresas já estabelecidas aumentem os investimentos em P&D e inovação;
5. Por fim, a possibilidade de esvaziar a regulação (ou “minar a credibilidade do regulador”) fornece um incentivo para que todas as empresas incumbentes da indústria não invistam em P&D e inovação

À luz da discussão sobre as características do setor elétrico brasileiro e os regulamentos que visam promover a difusão de redes e medidores inteligentes de eletricidade, podemos concluir que o processo de número (1) listado acima

está atualmente em curso sob a forma de projetos-piloto, não tanto devido à existência ou perspectivas de uma PIT, mas devido a outras políticas, como investimentos obrigatórios em P&D e a necessidade de aumentar a qualidade da oferta para se garantir maiores receitas. Na verdade, nenhum dos dois projetos de lei mais relevantes para a promoção de redes inteligente que estão em discussão no Congresso brasileiro representa uma política impositora de tecnologia “completa”, porque eles não estabelecem sanções para a não-implantação de redes ou medidores inteligentes. Implicamente, entende-se que estas ficariam a cargo da Aneel. Da mesma forma, os processos (3) e (4), ainda não parecem ter sido desencadeados pela perspectiva de se adotar ou pela existência efetiva de uma PIT (como a resolução normativa 502/2012). Na verdade, ainda está para ser visto se a possibilidade de “aumentar os custos dos concorrentes” será um processo relevante no caso de redes inteligentes no Brasil.

Para as empresas brasileiras de energia elétrica (distribuição), as características do setor apresentam incentivos e desincentivos econômicos. A Seção 2 identificou esses fatores compensatórios e concluiu que o fator econômico chave para investimentos iniciais (projetos-piloto) em redes inteligentes não está relacionado com o objetivo de garantir rendas de monopólio. Em muitos dos casos, tais investimentos visam diminuir as perdas não-técnicas e aumentar a qualidade do serviço, a fim de cortar custos e aumentar as receitas. Este fator econômico, no caso de um setor que apresenta baixa propensão para inovar, é combinado com um fator de regulamentação: a saber, a exigência de investimentos obrigatórios em P&D e inovação (Programa de P&D da Aneel).

Uma vez que combater perdas não-técnicas é relevante para algumas distribuidoras que investem em projetos-pilotos, mas não outras que também investem em projetos de redes inteligentes, pode-se conjecturar que um outro processo não antecipado pela literatura sobre PITs poderá se iniciar no Brasil. Trata-se do processo de ‘isomorfismo’ organizacional, discutido em detalhes pelos sociólogos institucionalistas DiMaggio e Powell (1983): empresas numa mesma indústria tendem a adotar práticas, instituições e estratégias semelhantes (isomórficas) como forma de obter maior legitimidade perante seus públicos de interesse (consumidores, reguladores, ONGs etc.). Assim, na medida em que mais distribuidoras adotarem e difundirem redes e medidores inteligentes, as demais se sentiram compelidas a fazerem o mesmo (ainda que possam não competir nos mesmos mercados) para obterem legitimidade social e política.

Em relação às resoluções normativas da Aneel, a de número 502/2012 é a que poderia ser vista como um tipo de política impositora de tecnologia, uma vez que determinou a adoção de medidores inteligentes para uma determinada classe de consumidores. Na verdade, a norma parece ter provocado dois dos processos conceituais: dada a falta de padronização para os medidores inteli-

gentes, o que poderia levar a processos legais por parte dos consumidores, por exemplo, as empresas já estabelecidas fizeram *lobby* contra a implantação da resolução e para o adiamento do prazo para adoção de medidores inteligentes. Além disso, durante a audiência pública promovida pela Aneel para decidir se adia ou não o prazo, a indústria agiu em conjunto defendendo a revogação da resolução devido a questões de natureza técnica e regulatória. Em linha com a literatura sobre PITs, este episódio destaca a importância de assimetrias de informação entre o regulador e empresas reguladas, na medida em que documentos técnicos submetidos pela indústria desempenharam papel fundamental na decisão de adiar indefinidamente o prazo para adoção de medidores inteligentes no Brasil. Além disso, o episódio ressalta a problemática de se delegar o detalhamento da PIT a um órgão regulador, que sempre está sob risco de captura regulatória.

Esta análise inicial destaca a importância de considerar os aspectos conceituais de políticas impositoras de tecnologia quando se tenta adotar normas para a difusão de redes e medidores inteligentes no Brasil. Uma recomendação, portanto, refere-se ao fato de que nenhuma peça de legislação será completa e eficaz para impor uma tecnologia se não antecipar sanções a serem adotadas nos casos em que as empresas reguladas não implantem a tecnologia. As leis para difusão de redes e medidores inteligentes em discussão no Congresso Nacional deveriam ser revistas para incluir explicitamente as sanções ou a determinação de que a Aneel estabeleça sanções fortes e críveis em caso de não cumprimento da PIT. Segundo a literatura sobre PIT, a inclusão de sanções em lei tende a ser mais eficaz do que delegar a determinação de tais sanções ao regulador.

A segunda recomendação diz respeito à possibilidade de melhorar o programa de P&D da Aneel, para incluir requisitos de investimentos em tecnologias específicas. Isto foi, de fato, tentado através do chamado programa *Inova Energia*, co-financiado por BNDES, FINEP e Aneel (através do Fundo de P&D), que consistia em uma chamada pública por projetos de desenvolvimento de certas inovações para o setor de energia. No entanto, o programa obteve resultados mistos, devido a uma falta de profundidade no diagnóstico e prognóstico do setor (MAZZUCATO; PENNA, 2016). A melhoria do programa de P&D da Aneel deve, portanto, aprender com os êxitos e fracassos do *Inova Energia*. Finalmente, e relacionada com esta segunda recomendação, como parte da presente proposta de um programa de P&D 'dirigido', faz-se a recomendação de se ampliar os projetos atualmente em fase-piloto, bem como aumentar os investimentos na indústria de componentes redes e medidores inteligentes, uma área que poderia ser parte de novos programas de política industrial no Brasil.

Referências Bibliográficas

ABERNATHY, W. J. and Clark, K. B. 'Innovation: Mapping the winds of creative destruction', *Research Policy*, 14(1), pp. 3-22, 1985.

ABRADEE. *Setor Elétrico: Visão Geral do Setor*, 2016. Available at: <http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/visao-geral-do-setor> (Accessed: 15/2/2016)

BANSAL, S. and GANGOPADHYAY, S. 'Incentives for technological development: BAT is bad', *Environmental and Resource Economics*, 30(3), pp. 345-367, 2005.

DIMAGGIO, P. J. and POWELL, W. W. 'The Iron Cage revisited: institutional isomorphism and collective rationality in organizational fields', *American Sociological Review*, (48), pp. 147-60, 1983.

DOSI, G. 'The nature of the innovative process', in Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G. & Soete, L. (eds.) *Technical change and economic theory*. London: Pinter, pp. 221-238, 1988.

DYERSON, R. and PILKINGTON, A. 'Gales of creative destruction and the opportunistic incumbent: The case of electric vehicles in California', *Technology Analysis & Strategic Management*, 17(4), pp. 391-408, 2005.

FRANCIS, D. and BESSANT, J. 'Targeting innovation and implications for capability development', *Technovation*, 25(3), pp. 171-183, 2005.

FREEMAN, C. and PEREZ, C. 'Structural crises of adjustment, business cycles and investment behaviour', in Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R.R. & Soete, L. (eds.) *Technical Change and Economic Theory*. London: Pinter, pp. 38-66, 1988.

GARCIA, R. and CALANTONE, R. 'A critical look at technological innovation typology and innovativeness terminology: a literature review', *Journal of Product Innovation Management*, 19(2), pp. 110-132, 2002.

GEELS, F. W. *Understanding the Dynamics of Technological Transitions: a co-evolutionary and socio-technical analysis*. PhD Thesis, Twente, Enschede, 2002.

GEELS, F. W. 'Reconceptualising the co-evolution of firms-in-industries and their environments: Developing an inter-disciplinary Triple Embeddedness Framework', *Research Policy*, 43(2), pp. 261-277, 2014.

GERARD, D. and LAVE, L. 'Implementing technology-forcing policies: The 1970 Clean Air Act amendments and the introduction of advanced automotive emissions controls in the United States', *Technological Forecasting and Social Change*, 72(7), pp. 761-778, 2005.

GERARD, D. and LAVE, L. 'Experiments in technology forcing: comparing the regulatory processes of US automobile safety and emissions regulations', *International Journal of Technology, Policy and Management*, 7(1), pp. 1-14, 2007.

HACKETT, S. C. 'Pollution-controlling innovation in oligopolistic industries: some comparisons between patent races and research joint ventures', *Journal of Environmental Economics and Management*, 29(3), pp. 339-356, 1995.

JAFFE, A. B., NEWELL, R. G. and STAVINS, R. N. 'Technological change and the environment', *Handbook of environmental economics*, 1, pp. 461-516, 2003.

KEMP, R. *Environmental policy and technical change: a comparison of the technological impact of policy instruments*. Edward Elgar Cheltenham/Brookfield, VT, 1997.

LEE, J., VELOSO, F., HOUNSHELL, D. and RUBIN, E. 'Forcing technological change: A case of automobile emissions control technology development in the US', *Technovation*, 30(4), pp. 249-264, 2010.

LEE, J., VELOSO, F. M. and HOUNSHELL, D. A. 'Linking induced technological change, and environmental regulation: Evidence from patenting in the U.S. auto industry', *Research Policy*, 40(9), pp. 1240-1252, 2011.

MAZZUCATO, M., and PENNA, C. C. R. 'Mission-oriented policies in practice: the case of Brazil's Inova programme', paper prepared for the workshop: Edler, J., and Boon, W. (orgs.), *The next generation of innovation policy: Directionality and the role of demand-oriented instruments*, 2016.

MILLER, A. S. 'Environmental regulation, technological innovation, and technology-forcing', *Nat. Resources & Env't.*, 10, pp. 64, 1995.

NELSON, R. R. 'The Co-evolution of technology, industrial structure, and supporting institutions', *Industrial and Corporate Change*, 3(1), pp. 47-63, 1994.

NELSON, R. R. and WINTER, S. G. *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge (MA): Belknap Press, 1982.

PENNA, C. C. R. *The Co-evolution of societal issues, technologies and industry regimes: Three case studies of the American automobile industry*. DPhil in Science and Technology Policy, Science Policy Research Unit (SPRU), University of Sussex, Brighton, 2014. PULLER, S. L. 'The strategic use of innovation to influence regulatory standards', *Journal of Environmental Economics and Management*, 52(3), pp. 690-706, 2006.

TAO, L., GARNSEY, E., PROBERT, D. and RIDGMAN, T. 'Innovation as response to emissions legislation: revisiting the automotive catalytic converter at Johnson Matthey', *R & D Management*, 40(2), pp. 154-168, 2010.

TIDD, J., BESSANT, J. and PAVITT, K. *Managing innovation: Integrating technological, market and organizational change*. 3rd. edn. Chichester: John Wiley & Sons, 2005.

TOLMASQUIM, M. T. *Novo modelo do setor elétrico brasileiro*. Rio de Janeiro: EPE, 2011.

TUSHMAN, M. L. and ANDERSON, P. 'Technological discontinuities and organizational environments', *Administrative Science Quarterly*, 31(3), pp. 439-465, 1986.

YAO, D. A. 'Strategic Responses to Automobile Emissions Control - a Game-Theoretic Analysis', *Journal of Environmental Economics and Management*, 15(4), pp. 419-438, 1988.

8

Políticas Públicas de Incentivos a *Smart Grid*

André Luis da S. Leite e Mayara Teodoro de Oliveira

Resumo

O objetivo do presente capítulo é analisar a atuação das políticas públicas perante o desenvolvimento de redes inteligentes do setor de energia elétrica do Reino Unido. As tecnologias de *smart grid* aparecem como uma importante ferramenta para contribuir com a segurança no fornecimento da eletricidade, se apresentando como uma maneira de tornar a rede não apenas maior, mas também mais inteligente, ocasionando em uma transformação dos serviços de distribuição de energia. De caráter descritivo, com uma abordagem qualitativa, desenvolve-se um estudo de caso ao focado no desenvolvimento das *smart grids* em um dos líderes europeus: o Reino Unido. Trata-se, sobretudo, dos investimentos em projetos de investigação e demonstração de redes inteligentes. Como resultado destaca-se que o pleno desenvolvimento das redes inteligentes depende de uma nova paisagem política, criada para regulamentar e incentivar essa implementação. Sendo assim, as políticas públicas influenciam diretamente na trajetória da difusão e desenvolvimento das redes inteligentes e, mais do que isso, no desenvolvimento do setor de energia como um todo. Percebe-se que as políticas estão fortemente conectadas ao processo evolucionário do setor, influenciando o desempenho dos mesmos. Dessa forma, acredita-se que é função do Estado o papel de incentivador de novas alternativas voltados à eficiência energética, buscando - por meio de regulações e incentivos - apontar os caminhos para a solução de problemas e para a promoção de investimentos no aprimoramento das atividades voltadas para o desenvolvimento das redes inteligente, ou seja, o desenvolvimento do setor elétrico como um todo.

Introdução

Acredita-se que a energia faz parte dos condicionantes do desenvolvimento econômico e a sua produção deve ser feita pensando em obter energia útil, barata e pouco poluente. Mas, todo o processo de exploração, extração, produção, transformação, transporte, distribuição e utilização da energia acontecem permeados por relações econômicas (em dimensões macro e micro), tecnológicas, políticas e ambientais (PINTO JUNIOR *et al*, 2007).

Mais especificamente, considera-se a energia elétrica como um vetor essencial para o desenvolvimento sócio econômico, pois existe uma enorme dependência das atividades socioeconômicas contemporâneas à sua utilização. Tal dependência vai desde o atendimento de demandas sociais até o atendimento das necessidades das mais diferentes indústrias. Dessa forma, o setor de energia elétrica, de modo geral, é altamente regulado e institucionalizado, o que representa uma necessidade de interação constante entre governo e empresas. A indústria de energia elétrica é considerada uma indústria de rede, tal qual os setores de telecomunicações e gás¹. Isto é, constata-se que a atuação da indústria de energia elétrica figura-se perante a interferência das estruturas institucionais, entendidas como as diversas formas que os principais agentes desse setor (Estado, empresas de energia e consumidores) se utilizam para organizar suas transações. A indústria de energia elétrica caracteriza-se por ofertar um bem único, não-diferenciável, com demanda preço-inelástica. Em um mercado de energia elétrica, as tecnologias de produção são o principal determinante dos preços, porém, há elementos que impossibilitam uma dinâmica endógena de inovação, já que novas tecnologias vão sendo incorporadas às antigas tecnologias, sem que essas deixem de exercer seu papel no setor.

Por meio apenas de decisões via mercado, a introdução de inovações de qualquer natureza seria muito lenta, sendo necessária a atuação ativa do Estado. Isto corrobora a tese de Mazzucatto (2013), sobre o papel essencial desenvolvido pelo Estado no que diz respeito à promoção de inovações nas economias modernas.

Percebe-se, então, a importância de um governo atuante buscando incentivar a capacidade de inovação e aprendizado do setor de energia. Esse tema é fortemente discutido quando são abordados os SNIs (Sistemas Nacionais de Inovação), onde é possível entender que muitas políticas públicas influenciam o sistema de inovação ou a economia como um todo, mostrando o quão importantes são os aspectos políticos no desenvolvimento de setores ou até mesmo das nações (KRETZER, 2009).

Nesse contexto, a ideia essencial que percorrerá a elaboração deste capítulo diz respeito à difusão de redes inteligentes no Reino Unido que tem levado a transformação dos serviços de distribuição de energia inglesa. Dito em outras palavras, buscar-se-á discorrer sobre o processo de implantação e desenvolvimento de *smart grid* no Reino Unido a partir das políticas públicas que incentivam essa tecnologia em sistemas elétricos.

¹ Indústria de rede é aquela na qual compradores e vendedores são integrados através de redes de transmissão e de distribuição (SANTANA; OLIVEIRA, 1998). Ou seja, é um caso especial de monopólio natural, onde exploram a multiplicidade das relações transacionais entre os agentes econômicos situados em diferentes nós da rede, o que envolve um princípio de organização espacial e territorial. Nota-se, assim, que as indústrias responsáveis pelo provimento de infraestrutura são indústrias de rede.

Julga-se esse tema como pertinente devido ao fato de a *smart grid* ser uma ferramenta importante no auxílio da garantia de segurança no fornecimento de energia elétrica, se apresentando como uma maneira de tornar a rede de eletricidade mais flexível. As redes inteligentes contribuem para entregar a eletricidade proveniente de fontes alternativas e renováveis de forma mais eficiente e confiável, tornando possível a integração de novas formas de oferta e demanda de energia (DECC, 2009).

A construção de uma rede inteligente é um processo incremental da aplicação de tecnologias para o sistema de eletricidade, permitindo mais dinâmica dos fluxos de informações na rede e maior interatividade entre fornecedores e consumidores. Uma infraestrutura de comunicação digital pode ser considerada fundamental para a construção de maior inteligência na rede. Adicional a isto, também é necessária uma camada de monitorização, comunicação e *software* de controle, integrada com os sistemas existentes, bem como *hardware* adicional, tais como sensores, monitores, dispositivos de comunicação e contadores inteligentes (DECC, 2009).

No entanto, para instituir uma rede inteligente, são necessárias mudanças políticas e investimentos. Cabe ao Governo reconhecer a importância e necessidade de redes inteligentes e contribuir de forma direta para a implementação de *smart grid*. Dessa forma, existe o desafio de regulamentar e incentivar essa implementação criando uma nova paisagem política (DECC, 2009). Três temas são pertinentes de serem mencionados: a inovação - ao considerar a necessidade de inovações para uma forma mais limpa de geração e distribuição de energia; as políticas públicas, considerando a necessidade de intervenção governamental para a instauração de *smart grid*; e a economia da energia para discutir características do setor elétrico que apontam para a necessidade de regulação e intervenção pública.

8.1 – Referencial Teórico

8.1.1 - Inovação

A inovação deflagra um processo de destruição das estruturas econômicas existentes e de criação de novas estruturas. Para Schumpeter, as inovações são as mudanças descontínuas de origem endógena que proporciona um distanciamento da posição de equilíbrio (SCHUMPETER, 1997). Nesse sentido, de acordo com Laplane (1995), Schumpeter considera que as inovações funcionam como um motor que proporciona rupturas das rotinas estabelecidas e transformações das estruturas existentes, sendo esse um processo de desorganização e reorganização das estruturas induzido pelas inovações.

Conforme assinala Schumpeter (1989), na medida em que novas combinações aparecem descontinuamente, surge o fenômeno do desenvolvimento, fenômeno esse que pode ser observado no fluxo circular ou na tendência para o equilíbrio, por meio de mudanças espontâneas e descontinuas nos canais do fluxo, perturbações do equilíbrio, que altera e desloca o estado de equilíbrio existente. Sendo assim, para o autor, as inovações vão proporcionar o desenvolvimento por meio de novas combinações.

As novas combinações podem acontecer via: i) introdução de um novo bem ou de uma nova qualidade de um bem; ii) introdução de um novo método de produção ; iii) abertura de um novo mercado; iv) conquista de uma nova fonte de oferta de matérias-primas ou de bens semimanufaturados ; v) estabelecimento de uma nova organização de qualquer indústria (SCHUMPETER, 1997).

Nesse contexto, a inovação é percebida como um processo de introdução do novo, seja na empresa (processo) ou no mercado (produto) com o intuito de atingir vantagem perante seus concorrentes. Essa concepção de novo é apresentada acima quando mencionado como as novas combinações podem acontecer, mas o que deve ser levado em consideração é que quando a inovação é considerada sob o ponto de vista de Schumpeter são as rupturas e as transformações do que existe seu ponto forte, onde a empresa vive em constante busca do equilíbrio perante sinais e alterações do ambiente.

No entanto, as inovações não acontecem apenas com rupturas, elas podem partir de pequenas alterações, ou seja, a inovação não é apenas radical ela pode ser também incremental. À vista disso, a inovação radical pode ser entendida como a criação e/ou desenvolvimento e introdução de um novo produto ou processo inteiramente novo. Já a inovação incremental seria a introdução de qualquer tipo de melhoria em um produto, processo ou organização da produção dentro de uma empresa, sem alteração na estrutura industrial. Ressalta-se que, se há uma inovação, quando essa é posta em execução, como no caso de um produto, ela deve ser colocada no mercado (LEMOS, 1999).

Contudo, considerando essa visão de Schumpeter de que a inovação vai proporcionar o desenvolvimento, e analisando sob o prisma da empresa, deve-se considerar que a inovação vai acontecer visando defender uma atual posição competitiva, assim como buscando novas vantagens no mercado. A capacidade de gerar e absorver inovações vêm sendo considerada crucial para um agente econômico se tornar competitivo. Isso porque o contexto econômico global, contemporâneo, se caracteriza por mudanças aceleradas nos mercados, tecnologias e formas organizacionais. Dessa forma, torna-se imprescindível a aquisição de novas capacitações e conhecimentos, o que significa intensificar a capacidade de indivíduos, empresas, países e regiões de aprender e transformar esse aprendizado em fator de competitividade (LEMOS, 1999).

Sendo assim, para competir no mercado altamente competitivo contemporâneo, toda e qualquer organização deve se preocupar com suas capacidades internas, pensando em pessoal capacitado, equipamentos, conhecimento, tudo que contribua para essa inovação, quer sejam as ideias iniciais ou os meios necessários para produzir o novo produto. Ainda, se faz extremamente relevante analisar o ambiente externo, buscando perceber quais os interesses do mercado, e o que vem sendo realizado nessa mesma direção pelos seus concorrentes (TIDD *et al.*, 2008). Em suma, qualquer empresa precisa analisar seus ambientes interno e externo antes de iniciar um novo projeto e lançar um novo produto.

Nesse contexto, amplia-se ainda mais o conceito de inovação, isso porque, ela deve responder a alguns questionamentos que dizem respeito a ‘o que’, ‘como’, ‘quando’, ‘onde’, ‘pra quem’ fazer essas inovações, ou seja, esse não é um processo fácil, muito menos restrito, ele vai envolver uma ampla gama de atores, internos e externos as organizações.

Contudo, a inovação nesse estudo será percebida como a consequência de mudanças internas e externas a organização. Ou seja, acredita-se que sinais do ambiente podem mudar as estratégias organizacionais e proporcionar o desenvolvimento do processo inovativo, não considerando que a inovação por si só será a solução de todos os problemas, mas sim que qualquer tipo de alteração quer seja no processo ou no produto podem gerar vantagens às empresas.

8.1.2 – Políticas Públicas

Tomando como base a ideia de que as instituições e aspectos históricos regionais/nacionais estão fortemente relacionados, North (1991), admite que as instituições evoluem incrementalmente, conectando o passado com o presente e o futuro. Logo, a história importa quando considerada sob o aspecto da evolução institucional em que o desempenho econômico se dá por meio dessa, ou seja, através de uma história sequencial. Dessa forma, as instituições são as responsáveis por moldar o rumo da mudança econômica, ou seja, é a partir dos incentivos advindos das instituições que a estrutura econômica evolui.

De acordo com Zysman (1994), são as instituições que postulam estruturas de incentivos ou restrições e, assim, estruturam as escolhas das empresas. Dessa forma, para o autor, são as estruturas institucionais e os quadros nacionais de incentivos e restrições que facilitam (ou dificultam) os problemas de relacionamento entre os agentes, induzindo a empresa a diferenciar sua estratégia a nível nacional. Sendo assim, perante a presença institucional as empresas operam dentro dos quadros nacionais de incentivos e restrições, e são esses elementos que vão moldar seu desempenho.

A estrutura institucional do mercado determina padrões de restrições e incentivos, esses padrões geram os comportamentos de rotina nas empresas. Nesse sentido, as variações nessas estruturas contribuem para distintas trajetórias de desenvolvimento, e a evolução dessas estruturas institucionais provocará evolução nas rotinas econômicas (CONCEIÇÃO, 2002).

Em vista disso, as estruturas institucionais, que implicam diferentes padrões de custo e de prêmios, definem distintas lógicas de mercado nacional e estratégias das firmas, que constituem a base do crescimento. Esse crescimento se dá dentro de uma estrutura nacional de incentivos e restrições, que cria distintos mercados de produto nacional e estratégias de inovação (CONCEIÇÃO, 2002).

A nova economia institucional (NEI) é a visão institucionalista que possui uma abordagem vinculada entre instituições, incentivos, e evolucionismo, prevendo a existência de uma estrutura de incentivos, que visa orientar de maneira eficiente trocas entre os indivíduos. Nesse sentido, cabe aos indivíduos tomar decisões e ações que, uma vez influenciadas pela gama de incentivos, conduzirão a alterações no seu desempenho econômico na medida em que sua estrutura se aproxime de um padrão organizacional eficiente (SILVA FILHO, 2006).

Nesse sentido, acredita-se que o desempenho organizacional é constantemente influenciado pela atuação do Estado. Isso é feito por meio de um conjunto apropriado de incentivos para uma atividade eficiente. Logo, através de uma estrutura institucional eficiente é possível, conseqüentemente, incentivar o investimento eficiente pelas organizações reguladas por determinada gama institucional.

Salienta-se, então, que as instituições se desmembram em regulações e incentivos. O primeiro pode ser percebido como um instrumento indireto para a consecução de objetivos amplos da política Estatal, por meio da sinalização de como os atores econômicos devem atuar no mercado em se tratando de direcionamento e limites dessa atuação. Já os incentivos são uma forma de intervenção direta no mercado e consistem em instrumentos de incentivos setoriais e transversais que visem: i) promover novos setores produtivos, que se façam necessários ao progresso futuro do país; e ii) ampliar e modernizar o parque produtivo já existente. Sendo assim, a regulação e os incentivos são guiados por um objetivo maior de determinada política, e são elementos essenciais contidos na estrutura institucional (IPEA, 2012).

North (1996) corrobora com essa ideia quando afirma que as organizações são criações do conjunto de oportunidades estabelecidas pelo arcabouço institucional, portanto, a direção de sua evolução corresponde à estrutura de incentivos incorporada ao arcabouço institucional.

Posto isso, acredita-se que os incentivos, advindos da estrutura institucional, objetivam oferecer condições econômicas favoráveis para o investimento eficiente. Dessa forma, a fim de alcançar um desempenho econômico superior ao dos concorrentes no mercado, se faz necessário saber tirar proveito dos in-

centivos presentes nas estruturas institucionais buscando caminhos alternativos tanto para a solução de problemas, quanto para o investimento no aprimoramento de suas atividades.

Essas estruturas institucionais estão fortemente presentes no setor elétrico, por isso se faz necessário que o modelo institucional do setor seja descrito, para que seja possível reconhecer os agentes influenciadores da dinâmica do setor.

8.1.3 Economia da Energia

Acredita-se que, desde a Revolução Industrial, a energia faz parte dos condicionantes do desenvolvimento econômico, isso devido ao fato de a economia ancorar suas bases na disponibilidade de recursos energéticos. Parte-se do princípio de que a energia possui múltiplas dimensões econômicas interdependentes, assim as decisões estratégicas das empresas e as políticas governamentais dependem fundamentalmente da articulação dessas dimensões (PINTO JUNIOR *et al.*, 2007).

Pinto Junior *et al.* (2007) acreditam que a economia da energia trata de cinco temas interdependentes que refletem uma série de relações econômicas fundamentais envolvendo as empresas de energia, o Estado, e os consumidores. Para os autores, estes temas estão associados: (i) às relações entre a oferta e a demanda de energia e o crescimento econômico sustentável; (ii) às condições econômicas e geopolíticas que governam as relações comerciais e de interconexão física da infraestrutura de energia entre diferentes países; (iii) ao processo de formação de preços e aos critérios que presidem as decisões de financiamento, de investimento e de consumo de energia; (iv) ao papel do Estado na formulação das políticas de oferta e demanda, do regime fiscal e/ou criação de empresas estatais; (v) ao papel das estratégias empresariais e das inovações tecnológicas que configuram, em última instancia, um determinado padrão de concorrência nas indústrias energéticas.

Nesses termos, perante a atuação do Estado, na condução institucional da economia energética, bem como criação de empresas nacionais que vão competir no mercado interno, surge à base de relações entre os principais atores econômicos. Isso porque, em se tratando da economia da energia, é o modelo institucional, presente no papel do Estado, que vai influenciar fortemente o papel das empresas, pois suas estratégias são ancoradas nas características pré-estabelecidas dessa economia, pensando em instituições e mercado, considerando fatores como a regulação e incentivos, bem como a oferta, a demanda, e também a concorrência.

Cabe ressaltar, que existem diversas fontes de energia, sendo elas renováveis - energia solar, hidráulica, biomassa e energia eólica - e não renováveis

- petróleo, carvão, gás natural e nuclear (ANEEL, 2002). No entanto, para se obter energia útil, de todas essas formas energéticas, para que elas possam ser aproveitadas pelo sistema sócio-produtivo se faz necessária uma longa cadeia de operações: exploração, extração, produção, transformação, transporte, distribuição e utilização (PINTO JUNIOR *et al.*, 2007).

Dessa forma, seria papel do Estado regular essa cadeia produtiva e das empresas realizar todo esse processo, de forma que a beneficie, fornecendo o produto final da forma que cada consumidor final necessita. De acordo com Pinto Junior *et al.* (2007) a atuação do Estado e das empresas de energia, pensando em obter energia útil, barata e pouco poluente, acontecem por meio de relações econômicas em dimensões macro e micro econômicas, tecnológicas, políticas e ambientais:

- **Macroeconomicamente**, se aceita que a comercialização de energia, em âmbito doméstico, é uma das principais fontes de arrecadação de tributos, por isso todos os países se preocupam com os efeitos dos preços da energia, já que ele interfere facilmente na economia local;
- **Microeconomicamente**, considera-se o processo de constituição e expansão das indústrias de energia, bem como as estratégias empresariais envolvendo processos regulatórios e tarifários no que diz respeito à forma de atuação;
- **Tecnologicamente**, admite-se que o aproveitamento econômico da energia está diretamente vinculado ao processo de inovações tecnológicas e às técnicas e equipamentos de produção e utilização de diferentes fontes de energia;
- **Politicamente**, devido à distribuição desigual dos recursos energéticos naturais se faz necessária uma série de relações comerciais geopolíticas, tais relações são percebidas como complexas e intrincadas e envolvem relações econômicas, políticas e até mesmo militares quando abordado o tema da energia nuclear;
- A dimensão **ambiental** aborda questões que dizem respeito ao fato de toda fonte energética causar algum tipo de impacto ambiental, isso leva a discussões quanto ao incentivo às tecnologias mais limpas, bem como restrições a fontes de energia mais poluentes.

A interação entre essas diferentes dimensões determina a agenda política energética, que vai ocorrer pensando a segurança do abastecimento de energia e o uso racional e eficiente dos recursos naturais. Para que isso aconteça, o Estado terá forte atuação visando promover o desenvolvimento de determinadas fontes de energia em detrimento daquelas consideradas mais caras e/ou poluentes.

Para tanto, será feito o uso de políticas de tributação das fontes de energia, políticas de preços, e os subsídios e incentivos (PINTO JUNIOR *et al.*, 2007).

Dessa forma, a economia da energia vai girar em torno da atuação do Estado, das empresas e dos consumidores. E todos eles julgam a energia como força vital para o desenvolvimento econômico, isso porque, na realidade atual é possível considerar que a energia é necessária, não apenas para as atividades sociais cotidianas, como também ser indispensável para a execução das atividades das mais diversas indústrias, interferindo de forma direta no crescimento econômico.

Nesses termos, em se tratando de suprimento energético, a eletricidade se tornou uma das formas mais versáteis e convenientes de energia, passando a ser recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento socioeconômico de muitos países e regiões (ANEEL, 2002).

Por isso, cabe ao estado proporcionar aos agentes oportunidades difusão da geração com o intuito de garantir segurança no fornecimento de energia elétrica. Neste sentido, não se vislumbra que a definição de parâmetros tecnológicos do setor elétrico se dará via mercado, ou seja, definidas livremente pelas firmas a partir do sistema de preços, mas pela intervenção do Estado, onde, a partir de políticas claras e bem definidas, deve-se incentivar o desenvolvimento de novas tecnologias que, passo a passo, são incorporadas ao setor.

8.3 – Estudo de Caso de Políticas Públicas de Incentivo a *Smart Grids*: o caso britânico

Segundo Ramos (2015), o conceito de redes inteligentes vem provocando uma ruptura de paradigmas. Esta ruptura ocorre tanto na implementação de sistemas de distribuição de energia elétrica, quanto no oferecimento de novos serviços e facilidades ao consumidor. Para Ramos (2015), o conceito de redes inteligentes se baseia em redes de eletricidade que podem integrar, de forma inteligente, as ações e os comportamentos de todos os agentes, desde a geração até os consumidores finais, visando a aumentar a sustentabilidade, a viabilidade, a segurança de fornecimento e a confiabilidade do sistema.

O Reino Unido tem feito progressos significativos no desenvolvimento e implantação de redes inteligentes. E pode ser reconhecido como um dos líderes europeus em se tratando do investimento em projetos de investigação e demonstração de redes inteligentes (OFGEM, 2014).

A indústria *smart grid* do Reino Unido vem sendo desenvolvida pela colaboração entre o DECC (*Department of Energy & Climate Change*) - Departamento Britânico de Energia e Mudanças Climáticas, o OFGEM (*Office of Gas and Electricity Markets*) - órgão regulador britânico – e demais órgãos do governo a partir de uma visão sustentável que apresentava duas estratégias políticas

principais (i) Políticas de redução de carbono; e (ii) Segurança de suprimento. Com o objetivo de alcançar uma redução de emissões de carbono de 80% até 2050, e desenvolver um modelo de geração diversificada, com elevada participação de energia eólica e nuclear, visando alcançar 15% de todo o consumo de energia a partir de fontes renováveis até 2020 (JOO TEH *et al.*, 2011).

Com isso, o roteiro de implantação de *smart grid* do Reino Unido estabeleceu três objetivos de alto nível: (i) redução do carbono; (ii) segurança de suprimento energética; e (iii) competitividade econômica e acessibilidade. E se concentrou em três desafios: (i) integração da geração inflexível; (ii) eletrificação do transporte e aquecimento; e (iii) integração dos recursos de energia distribuída (JOO TEH *et al.*, 2011).

Nesse sentido, o Reino Unido possui a tarefa de desenvolver políticas que abordarão a segurança ambiental e problemas de abastecimento, enquanto controla os custos econômicos. Isso vai exigir mudanças na forma como operam os mercados de energia, como as redes são reguladas e incentivadas, como a demanda do consumidor é gerida, além de como os consumidores gerenciam sua própria demanda, e na forma como o investimento na resposta a estes desafios pode ser incentivada (XENIAS *et al.*, 2014).

Por isso, o Reino Unido introduziu uma série de políticas e programas de apoio para construir uma rede inteligente. Esses incluem: (i) um compromisso de redução das emissões de carbono em 30% até 2020 e 80% até 2050; (ii) estabelecer uma visão clara de *smart grid* do Reino Unido e um mapa da rota das maneiras em que *smart grid* poderia ser entregue; (iii) a implantação nacional de 53 milhões de medidores inteligentes; (iv) a criação de um grupo consultivo *cross-industry* liderado pelo governo chamado de *Smart Grid Forum* para informar o desenvolvimento de políticas de *smart grid*; (v) O desenvolvimento de disposições regulamentares e comerciais por regulador de energia independente, OFGEM (vi) capacidade da indústria de construção e teste de novas tecnologias; (vii) engajamento dos usuários finais por meio de atividades como projetos de experimentação e demonstração em grande escala (OFGEM, 2014b).

Assim, o desenvolvimento e a evolução das redes inteligentes vão exigir mudanças significativas em várias áreas de entrega e consumo de energia elétrica. Logo, implicarão em mudanças nas motivações e comportamentos de múltiplas partes interessadas (decisores políticos, investidores, consumidores e reguladores), bem como mudanças que incentivem a entrada de novos operadores no setor de energia. Por isso existe a necessidade de mudança no quadro político e regulamentar, a fim de reformar o mercado de eletricidade, mudar os incentivos para as principais partes interessadas e criar instrumentos que irão impactar diretamente na introdução de redes inteligentes. Essas mudanças têm o potencial para incitar ou bloquear as *smart grid* e impulsionar a realização

dos objetivos políticos, relacionados a benefícios económicos e tecnológicos provenientes das redes inteligentes (XENIAS *et al.*, 2014).

Sabendo-se que seriam necessárias mudanças significativas para implantação de *smart grid* inglesa, constatou-se então a necessidade de identificar os desafios e as áreas de preocupação. Assim, pensando o esforço que seria necessário na implantação de redes inteligentes foram identificados fatores determinantes descritos por Joo Teh *et al.* (2011) apresentados a seguir:

1. Identificação e realização de estudos piloto de rede inteligente; acreditando que o setor elétrico é avesso ao risco devido ao alto custo econômico, tanto quando pensada a interrupção de energia, quanto pensados novos desenvolvimentos. Por isso, qualquer nova tecnologia precisa ser exaustivamente testada e demonstrada em uma pequena escala, visando a adoção em larga escala e a implantação da tecnologia.
2. Normalização de sistemas de comunicação; trata da necessidade de impor padrões na indústria. Pensando não só no Reino Unido, mas também numa provável integração da rede europeia.
3. Coordenação dos esforços de implantação; essa necessidade surgiu devido à natureza fragmentada da rede de energia elétrica. Essa fragmentação do sistema de eletricidade no Reino Unido acontece devido à necessidade de aumento da concorrência resultando em um *mix* de atividades baseadas no mercado e regulamentadas.
4. Necessidade de aumento a participação de fornecedores locais; pensando não só a implantação de rede inteligente inglesa, mas também visando posicionar a indústria inglesa como uma fornecedora para países estrangeiros onde iniciativas inteligentes também estão surgindo.

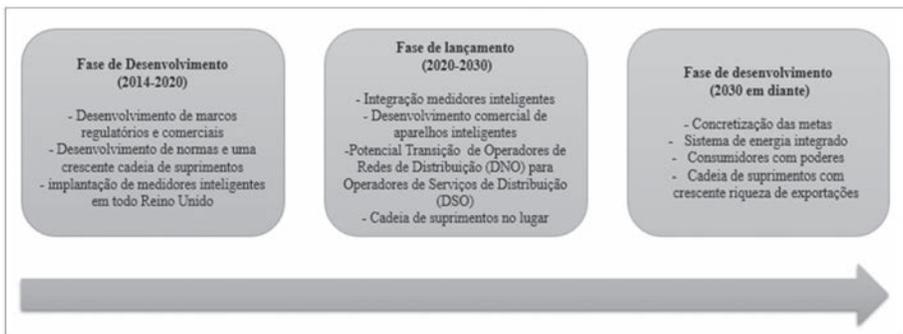
No entanto, a OFGEM (2014) acredita que para alcançar o desenvolvimento de uma rede inteligente inglesa será necessário percorrer um caminho composto por três fases de implantação de *smart grid* (Figura 1):

- **Primeira fase** – fase de desenvolvimento - focada em capturar os benefícios de curto prazo de implantação de tecnologias e soluções inteligentes. Além de se preparar para o lançamento rápido de geração distribuída, aumentando a eletrificação do aquecimento e dos transportes. Mudanças nos marcos regulatórios e comerciais para apoiar a gestão da procura e de armazenamento. Direcionamento de políticas de governo, para fomentar o desenvolvimento de uma cadeia de fornecimento de *smart grid*.
- **Segunda fase** – fase de lançamento - vê um papel muito maior para o consumidor após a implantação de medidores inteligentes em todo Reino Unido.

Grupos de energia da comunidade e autoridades locais buscando desenvolver fontes locais de energia renovável para reduzir custos, aumentar a tendência para o desenvolvimento de energia descentralizada. Os avanços obtidos na primeira fase, juntamente com os avanços em armazenamento e alterações ao regime de regulamentação, possibilitam aos DNO - Operadores de Redes de Distribuição - desempenhar um papel operador do sistema local para gerir as restrições do sistema local e, possivelmente, oferecer serviços de compensação.

- **Terceira fase** – fase de desenvolvimento – é quando o Reino Unido vai atingir seus objetivos, onde uma rede inteligente permitirá o desenvolvimento de um sistema inteligente de energia totalmente integrado e uma plataforma para o desenvolvimento de tecnologias de apoio ao aumento da eletrificação do setor de aquecimento e transporte, bem como casas e negócios mais inteligentes. Estes desenvolvimentos também poderão contribuir para a evolução das cidades inteligentes. O conhecimento, competências e habilidades desenvolvidas significa uma cadeia de fornecimento madura explorando oportunidades de exportação significativas.

Figura 1: Resumo das Etapas do Desenvolvimento de uma Rede Inteligente



Fonte: Adaptado de OFGEM (2014)

Destaca-se, contudo, que dois agentes desempenham um papel crucial em uma implantação de *smart grid*: os consumidores, que precisam gerir seu consumo de energia; e a indústria, que deve assumir a liderança e comprometer investimentos significativos dos seus recursos. Assim, o primeiro passo da *smart grid* inglesa seria o de convencer essas partes interessadas. Onde se fez necessário fornecer aos consumidores às informações necessárias e ferramentas para melhor gerir o seu consumo de eletricidade. E quanto aos operadores da indústria foi preciso deixá-los confiantes quanto ao investimento de recursos na adoção de novas tecnologias e programas de gestão de mudança, tentando

mostrar que essa seria uma decisão sensata a longo prazo. Até porque o mercado potencial para soluções *smart grid* não é apenas baseada no Reino Unido, mas global, por isso, participar da implantação de *smart grid* no Reino Unido e conseqüentemente desenvolver seus conhecimentos tornaria possível reutilizar esses valiosos recursos em novos mercados no exterior (JOO TEH *et al.*, 2011).

Dessa forma, implantação de medidores inteligentes surge como chave no desenvolvimento de uma rede inteligente. Por isso o governo inglês lançou um programa de implementação de medidores inteligentes - *Smart Metering Implementation Programme* – que visa a implantação de 53 milhões de medidores inteligentes para todos os consumidores domésticos e pequenas instalações não domésticos no Reino Unido até ao final de 2020. Estes dispositivos têm o potencial de serem ativadores de rede inteligente valiosos através de suas capacidades como sensores e dispositivos de interface para residências e pequenas empresas. Isso vai mudar a indústria, mais especificamente a forma de interação com as redes de eletricidade e sistemas de energia mais amplos (OFGEM, 2014).

Sendo assim, o desenvolvimento da indústria *smart grid* do Reino Unido vai envolver modificações políticas, inovações tecnológicas, inovações em modelos de negócios, operações de rede e práticas sociais. Mas, essa indústria ainda está em processo de desenvolvimento, que acontece sendo constantemente incentivado e limitado pela dinâmica de mudança regulamento, ou seja, pelas mudanças políticas (LOCKWOOD, 2013).

O OFGEM desenvolveu o novo quadro regulador RIIO a fim de incentivar os operadores de rede a enfrentar o desafio de proporcionar um menor teor de carbono na Grã-Bretanha. RIIO é uma partida significativa da abordagem regulamentar anterior (Regulamento RPI-X), que foi em grande parte destinada a reduzir custos e conseguir eficiências fora os ativos existentes. RIIO exige que as empresas para planejar mais cedo para diferentes cenários e se envolver mais com as partes interessadas ao preparar planos de negócios e durante todo o período de controle de preço.

RIIO é o dispositivo, por assim dizer, do OFGEM para definir preços para as empresas da rede. A ideia é que durante a próxima década, essas empresas enfrentem um desafio sem precedentes de garantir investimentos significativos para manter uma rede confiável e segura e lidar com as mudanças na demanda e na geração que ocorrerão em um futuro de baixo carbono.

Na condição de órgão regulador, o OFGEM deve garantir que a eletricidade seja transacionada a um preço justo. Assim, a ideia de RIIO baseia-se na seguinte equação:

$$\text{Receita} = \text{Incentivos} + \text{Inovação} + \text{Produção}$$

Ou seja, o modelo de estabelecimento do preço é um modelo baseado em desempenho.

RIIO é projetado para encorajar as empresas de rede para:

- Colocar as partes interessadas, no centro do seu processo de tomada de decisão;
- Investir com eficiência para garantir serviços contínuos com segurança e confiabilidade
- Inovar para reduzir os custos de rede para consumidores atuais e futuros
- Um papel completo no fornecimento de energia em uma economia de baixo carbono e mais amplo dos objetivos ambientais.

Conclusão

Com o intuito de analisar a atuação das políticas públicas perante o desenvolvimento de redes inteligentes do setor de energia do Reino Unido, foram descritos seus objetivos, bem como os desafios no processo de desenvolvimento e implantação de *smart grid* - redes inteligentes.

No caso analisado, foi possível perceber que a política pública possui papel primordial na promoção e implantação de *smart grid*. Como mostram Castro *et al.*, (2012), o setor de energia tem uma linha própria de exploração econômica, que é composta de quatro elementos: i) recursos naturais; ii) tecnologia; iii) mercados; e iv) instituições. E justamente estas desempenham papel primordial, pois são as instituições (regras, leis, políticas) que irão disciplinar a exploração e incentivar a exploração dos outros três.

Constatou-se que os objetivos das políticas públicas criadas para esse fim sempre foram de desenvolver o setor, bem como melhorar seu desempenho. Assim, destaca-se que a instituição de redes inteligentes vai depender uma nova paisagem política que vai regulamentar e incentivar sua implementação.

Sendo assim, as políticas públicas vão influenciar diretamente na trajetória de desenvolvimento das redes inteligentes e mais do que isso o desenvolvimento do setor de energia como um todo.

Logo, percebe-se que as políticas estão fortemente conectadas ao processo evolucionário do setor influenciando o desempenho dos mesmos. Dessa forma, acredita-se que cabe ao Estado desempenhar o papel de incentivador de novas alternativas para um melhor desempenho energético, buscando por meio de regulações e incentivos, apontar os caminhos alternativos tanto para a solução de problemas, quanto para o investimento no aprimoramento das atividades voltadas para o desenvolvimento das redes inteligente, ou seja, desenvolvimento do setor de energia.

Referências Bibliográficas

ANEEL. *Atlas De Energia Elétrica Do Brasil* / Agência Nacional de Energia. Elétrica. – Brasília: ANEEL, 2002.

BLUMSACK, S.; FERNANDEZ, A. *Ready Or Not, Here Comes The Smart Grid*. Energy, v. 37, i.1, jan. 2012, p.61-68.

CASTRO, L.; DUTRA, J. *Paying For The Smart Grid*. Energy Economics, v.40, s.1, Dec. 2013, p. S74-S84.

CASTRO, N.; LEITE, A. L. S. ; ROSENAL, R. . *Integração Energética: Um Estudo Comparativo Entre União Europeia E América Do Sul*. Revista de Economia & Relações Internacionais, v. 13, p. 41-56, 2013.

CONCEIÇÃO, O. *Instituições, Crescimento E Mudança Na Ótica Institucionalista*. Secretaria da Coordenação e Planejamento (Fundação de Economia e Estatística), Porto Alegre, março de 2002.

DECC - Department of Energy & Climate Change. *Smarter Grids: The Opportunity*. 2050 Roadmap: Discussion Paper. December 2009.

JOO TEH, Nee; GOUJON Guillaume; BORTUZZO, Gilles; RHODES, Aidan. *UK Smart Grid Capabilities Development Programme*. Energy Generation & Supply KTN. July 2011.

KRETZER, J. *Sistemas De Inovação: As Contribuições Das Abordagens Nacionais E Regionais Ou Locais*. Ensaios FEE, Porto Alegre, v. 30, n. 2, p. 863-892, dez. 2009.

LAPLANE, M. *Inovações E Dinâmica Capitalista Na Perspectiva De Schumpeter*. In: Ricardo Carneiro. (Org.). *Os Clássicos da Economia*. 1 ed. São Paulo: Editora Ática, 1995.

LEMO, Cristina. *Inovação Na Era Do Conhecimento*. In. LASTRES, Helena M. M.; ALBAGLI, Sarita. (organizadoras). *Informação e globalização na era do conhecimento* — Rio de Janeiro: Campus, 1999.

LIN, C.; YANG, C.; SHYUA, J. *A Comparison Of The Innovation Policy In The Smart Grid Industry Across The Pacific: China And The USA*. Energy Policy. V. 57, jun. 2013, p.119-132.

LOCKWOOD, Matthew. *Smart Grid-Lock? The Role Of Ideas, Interests And Institutions In Contestations Over The Future Of Electricity Networks In Britain*. Constructing and contesting spaces for low-carbon energy innovation, Eindhoven, Netherlands, 26-28 November 2013.

MAZZUCATTO, M. *The Entrepreneurial State: Debunking Public vs. Private Myths in Risk and Innovation*. Anthen Press, 284p, 2013.

MELO, E. *Evolução, Desafios E Perspectivas*. In: Brasil Energia. Cenários: Energia eólica 2014/2015. Editora Brasil Energia. Nov 2014.

MME - Ministério das Minas e Energia. *Modelo Institucional Do Setor Elétrico*. Brasília, 17. Dez. 2003.

NIOSI, Jorge. *National Systems Of Innovations Are “X-Efficient” (And X-Effective): Why Some Are Slow Learners*. Research Policy, v. 31, n. 2, p. 291–302, 2002.

NORTH, Douglass. *Custos De Transação, Instituições E Desempenho Econômico*. Rio de Janeiro: Instituto Liberal, 2006.

NORTH, Douglass. *Institutions*. Journal of Economic Perspective, v. 5, n. 1, p. 97-112, Winter, 1991.

OFGEM - Office of Gas and Electricity Markets. *Smart Grid Vision and Routemap*. Smart Grid Forum. February 2014.

OFGEM (2014b) - Office of Gas and Electricity Markets. *Smart Grid – Enabling Energy Efficiency And Low-Carbon Transition*. Foreign & Commonwealth Office. Hong Kong: June, 2014.

PEREIRA, A.J.; DATHEIN, R. *Processo De Aprendizagem, Acumulação De Conhecimento E Sistemas De Inovação: A “Co-Evolução Das Tecnologias Físicas E Sociais” Como Fonte De Desenvolvimento Econômico*. Revista Brasileira de Inovação, Campinas (SP), v. 11, n. 1, p. 137-166, janeiro/junho 2012.

PINTO JUNIOR, Helder Queiroz; et al. *Economia Da Energia: Fundamentos Econômicos, Evolução Histórica E Organização Industrial*. Rio de Janeiro; Elsevier, 2007.

RAMOS, D. *Redes Inteligentes: Tendências Operativas E Comerciais Em Longo Prazo*. In: CASTRO, n. (org.) *Visão 2030: cenários, tendências e novos paradigmas do setor elétrico*. Rio de Janeiro: Babilônia Cultura Editorial, 2015.

SCHUMPETER, Joseph Alois. *Teoria Do Desenvolvimento Econômico*. Abril Cultural. Série Os economistas, 1989.

SCHUMPETER, Joseph Alois. *Teoria Do Desenvolvimento Econômico: Uma Investigação Sobre Lucros, Capital, Crédito, Juro E O Ciclo Econômico*. Tradução Maria Sílvia Possas. São Paulo - Nova Cultural: 1997.

SILVA FILHO, E. B. da. *A Teoria Da Firma E A Abordagem Dos Custos De Transação: Elementos Para Uma Crítica Institucionalista*. Pesquisa & Debate, SP, v.17, n. 2 (30, p. 259-277, 2006.

TIDD, Joe; BESSANT, John, PAVITT, Keith. *Gestão Da Inovação*. 3ª Edição, 2008.

XENIAS, Dimitrios; AXON, Colin; BALTA-OZKAN, Nazmiye; CIPCIGAN, Liana; CONNOR, Peter; DAVIDSON, Rosemary; SPENCE, Alexa; TAYLOR, Gary; WHITMARSH; Lorraine. *Scenarios for the Development of Smart Grids in the UK: Literature Review*. Working Paper. UKERC - Energy Research Centre: January 2014.

ZYSMAN, John. *Institutions Create Historically Rooted Trajectories Of Growth*. Industrial and Corporate Change. v. 3, n. 1, p. 243-283, 1994.

9

Status Atual e Perspectivas das *Smart Grids* na Alemanha

Pedro Vardiero, Rubens Rosental, Paola Dorado,
Maria Alice E. de Magalhães

Resumo

A integração em larga escala de energias renováveis consiste na principal motivação para o desenvolvimento das *smart grids* na Alemanha, em um contexto no qual a flexibilização da demanda assume importância crescente. Além da forte inserção de energias renováveis intermitentes no mercado alemão, o crescimento da geração distribuída, a necessidade de gerenciamento de uma demanda com postura ativa e o surgimento de novos usos da energia elétrica, também são apontados como justificativas para o desenvolvimento de tecnologias de *smart grid*.

Nesse contexto de mudanças, a Alemanha entende que o mercado pode oferecer as soluções para a conciliação técnica e econômica dessas novas tecnologias e comportamentos. Para tanto, o governo procura propiciar um ambiente adequado para o crescimento de um mercado voltado para soluções de redes inteligentes.

Introdução

Conforme vem sendo abordado ao longo deste livro, o desenvolvimento de *smart grids* consiste em um elemento central na dinâmica de transformação do setor elétrico com vistas a dotá-lo de maior sustentabilidade e, ao mesmo tempo, aumentar sua qualidade e o nível de confiabilidade do suprimento. Esta assertiva é baseada na constatação que o monitoramento em tempo real da rede, não apenas cria condições para a adequada integração de fluxos de energia produzidos de forma intermitente, como também possibilita o sistema tornar-se mais eficiente e flexibiliza a demanda. Neste contexto, compreende-se porque muitos países estão adotando políticas de incentivos a investimentos que resultem em uma maior automação da rede e implementando políticas de *roll out* de *smart meters*.

A União Europeia (UE) reconhece a importância do desenvolvimento das *smart grids*. Dentre seus estados membros, a Alemanha consiste em um caso

particular porque, apesar de ser um desenvolvedor de tecnologias de *smart grid* e de reconhecer a importância da automação da rede para sua transição energética, não existem políticas específicas nem normas regulatórias para o desenvolvimento de *smart grids*. Em especial, destaca-se que a necessidade do *roll out* de *smart meters* é vista como bastante questionável, pois existe uma descrença em seus benefícios, vide que os projetos pilotos implementados indicam uma reduzida efetividade das medidas de *demand response*. Ao mesmo tempo, existe consenso que a presença de apenas um limitado número de pontos de medição inteligente na rede seja capaz de lidar com os desafios inerentes ao crescimento da geração a partir de fontes renováveis.

A premissa alemã é que as tecnologias inteligentes devem ser adotadas na medida em que venham apresentar-se como a alternativa mais atrativa em bases estritamente econômicas. A compreensão da lógica passa pelo reconhecimento dos elevados níveis de eficiência e confiabilidade já presentes no setor elétrico alemão. Além disso, deve ser ressaltada que a organização do setor elétrico alemão com a presença de aproximadamente 900 distribuidoras não favorece o *roll out* de *smart meters* porque não permite a exploração de economias de escala.

Em linhas gerais, o objetivo deste capítulo é apresentar o status atual e as perspectivas do desenvolvimento de *smart grids* na Alemanha. Desta forma, a primeira parte do capítulo é dedicada à análise das características técnicas e regulatórias do setor elétrico alemão com o objetivo de identificar possíveis motivações para o desenvolvimento de *smart grids* na Alemanha. Na sequência, examina-se como o desenvolvimento de redes inteligentes vem sendo tratado na Alemanha. Esta seção permitirá o leitor perceber a predominância de políticas focadas no desenvolvimento de tecnologias através da implementação de projetos de pesquisa e desenvolvimento e de projetos de demonstração. Por fim, a última parte deste capítulo trata do arcabouço regulatório para o desenvolvimento de *smart grids* e explicita a ausência de normas regulatórias propícias à realização de investimentos de *smart grids*.

9.1 – O Setor Elétrico Alemão

O setor elétrico alemão caracteriza-se por uma incessante busca pela confiabilidade do suprimento e pela garantia do acesso. Considerando a base industrial da economia alemã, é compreensível a importância concedida a estes objetivos. Neste contexto, destaca-se que o setor industrial alemão responde por quase metade do total da demanda por energia elétrica¹. Como ilustração, em 2013 o setor industrial teve uma participação de 46% do consumo total de

¹ Esta predominância do setor industrial é contrastante com o verificado em outros países desenvolvidos. Nos Estados Unidos, por exemplo, o setor industrial representou 27% do total de eletricidade consumido no ano de 2013 (EIA, 2014).

528 TWh, enquanto que os setores residencial e comercial/público tiveram participações de, respectivamente, 26% e 24% (BMW, 2014).

Em linhas com a necessidade de atender a estes objetivos, a partir da promulgação do *Energy Industry Act* (EnWG) em 1935 foi desenvolvida uma rede nacional elétrica integrada, confiável e eficiente. Para isso, houve o estabelecimento de um arcabouço institucional favorável à realização de investimentos em unidades de geração e na infraestrutura de rede, o qual assegurava direitos de monopólios com vistas à exploração de economias de escala e, desta forma, a minimização dos custos do sistema. Como consequência da concessão destes direitos de monopólios regionais, a EnWG acabou por incitar o desenvolvimento de um sistema elétrico caracterizado por um elevado nível de integração vertical e competição limitada. Em suma, tratava-se de um sistema onde as atividades de geração e transmissão eram integradas sob a propriedade de uma mesma empresa enquanto que a atividade de distribuição e o mercado varejista eram de responsabilidade de *utilities* municipais, as quais pertenciam às próprias empresas integradas verticalmente ou aos governos locais (BUNEKREEFT *et al.*, 2015).

Historicamente o setor elétrico alemão apresenta o mercado dominado por quatro grandes *utilities*, onde cada uma destas empresas detinha sua própria rede de transmissão. Soma-se a isso o predomínio da geração termoelétrica em plantas nucleares ou movidas a combustíveis fósseis de larga escala. Portanto, é perceptível o caráter bastante rígido inerente a esta estrutura de mercado (STRUNZ, 2014).

No entanto, a partir do fim da década de 1990, o setor elétrico alemão iniciou o processo de desverticalização de suas atividades com o objetivo de incitar a concorrência nos segmentos potencialmente competitivos (geração e comercialização). Esta liberalização visa adequar a estrutura do setor elétrico alemão às diretivas da União Europeia² e teve início com a revisão do EnWG em 1998.

2 A Primeira Diretiva do Setor Elétrico foi promulgada pela União Europeia em 1996 e tinha o intuito de criar condições para efetiva competição em nível da geração de energia. Desta forma, a mesma versava sobre a necessidade dos operadores de rede não adotarem comportamento discriminatórios em relação aos novos entrantes. Além disso, a diretiva também abordava a necessidade dos consumidores finais terem direito de escolher seu supridor de energia elétrica (EUROPEAN PARLIAMENT; COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION, 1996). Dado que os resultados desta diretiva não foram eficazes, a União Europeia em 2003 promulgou uma Segunda Diretiva onde o *unbundling* em nível legal passou a ser exigido, ou seja, a presença de redes de transmissão e distribuição independentes que possibilitem o acesso de qualquer agente. Ainda assim, os resultados permaneceram insatisfatórios em termos de promoção de concorrência (EC, 2007). Desta forma, a Terceira Diretiva publicada em 2009 estabelece alternativas de *unbundling* da atividade de transmissão mais incisivas.

Atualmente, a Alemanha apresenta três operadores da rede de transmissão organizados sob a forma de *Independent System Operator* (ITO) que não possuem a propriedade de ativos em outros segmentos da cadeia. Por sua vez, o quarto operador existente é um típico ITO, pois não apresenta o *full ownership unbundling*³. Em contrapartida, o segmento de distribuição apresenta-se bastante fragmentado com a presença de aproximadamente 900 concessionárias de distribuição de energia elétrica⁴ (BUNEKREEFT et al., 2015).

No âmbito do segmento de geração, é notório o aumento da competição com a liberalização implementada. Se até meados dos anos 1990 as quatro principais empresas do setor elétrico alemão (RWE, E.ON, Vattenfall Europe e EnBW) dominavam por completo o mercado, no presente estas empresas respondem por algo em torno de 44% da capacidade instalada alemã⁵ (BDEW, 2012).

Contudo, a desconcentração do mercado de eletricidade alemão não pode ser entendida apenas como sendo o resultado do processo de liberalização implementado. A compreensão do que está acontecendo passa pelo exame da transição em curso da matriz elétrica alemã, sobretudo o *phase out* das usinas nucleares e a crescente participação de fontes renováveis.

Apesar do *Energiewende* ser um tema das discussões sobre energia na Alemanha desde a década de 1980, somente nos anos 2000 que a mesma começou a ser verificada através de maciço programa de incentivos a fontes renováveis baseado em tarifas *feed-in*. Com o acidente da usina nuclear de Fukushima em 2011 e a conseqüente decisão alemã de desligar as usinas nucleares, começando pelas mais antigas, em um cronograma a ser cumprido até 2022, a perspectiva da transição energética alemã tornou-se ainda mais real (STRUNZ, 2014).

O *Energiewende* é parte integrante de uma política energética que a partir da década de 1970 passou a ter a busca pela sustentabilidade como um dos

3 Em termos legais, um ITO pode, não apenas deter ativos de transmissão e gerenciar sua rede, como também atuar em outros segmentos da cadeia produtiva. Desta forma, pode ser visto como uma versão mais forte do caso do *unbundling* legal em função de algumas restrições impostas com o intuito de assegurar a independência do operador. Embora não seja verificado na Alemanha, a Terceira Diretiva do Setor Elétrico da União Europeia também apresenta a possibilidade do *Independent System Operator* (ISO), no qual uma entidade independente executa a operação da rede, mas não existe restrição a esta rede pertencer a um agente que detenha ativos de geração.

4 Apenas as distribuidoras com mais de 100.000 clientes estão sujeitas à obrigação de realização do *unbundling*.

5 No que se refere ao comércio varejista, a desconcentração do mercado tem se apresentado de forma mais lenta. Em grande medida, isso é derivado do fato que os consumidores tendem a optar pela manutenção da empresa incumbente como seu supridor de energia elétrica. Logo, as comercializadoras precisam oferecer grandes atrativos para que o consumidor opte por mudar seu fornecedor de energia. Como ilustração, em 2012 apenas 7,8% dos consumidores residenciais alemães tinham trocado de supridor de energia (BNETZA, 2013).

seus objetivos estratégicos. Em um primeiro momento, tal objetivo estava muito relacionado à necessidade de controlar a emissão de poluentes locais e regionais (material particulado, SO_x, NO_x) derivada da produção e do consumo de energia. Mais recentemente, o caráter imperativo da mitigação das emissões de gases do efeito estufa assumiu um caráter central com relevantes impactos na evolução da matriz elétrica alemã.

Neste sentido, BMU (2011) destaca o objetivo alemão de reduzir suas emissões de gases do efeito estufa para 60% daquelas verificadas em 1990 até 2020 e para o nível de 20% das emissões de 1990 no ano de 2050 através do maior uso de fontes renováveis e de ganhos de eficiência energética. Em linhas com estes objetivos, no escopo do setor elétrico, o governo estabeleceu a meta de ter em 2020 e em 2050, respectivamente, 35% e 80% da geração elétrica produzida com base em fontes renováveis. Não obstante, para viabilizar estas metas, reconhece-se a importância do estabelecimento de diretrizes adicionais no setor elétrico, dentre as quais, o reforço da interligação do sistema de transmissão da Região Norte para a Região Sul com vistas a possibilitar a melhoria do transporte da energia eólica para os principais centros de carga⁶.

Além do objetivo de dotar o setor energético de maior sustentabilidade ambiental, incluindo a eliminação do risco inerente à operação de usinas nucleares, o *Energiewende* também busca reduzir a necessidade de importação de energia para que os gastos com esta importação sejam diminuídos e haja um aumento da segurança energética na Alemanha⁷. Concomitantemente, esta política visa promover inovações tecnológicas no âmbito da economia verde e, por consequência, consolidar a Alemanha como grande exportadora de tecnologias sustentáveis e criar empregos (MORRIS; PEHNT, 2015).

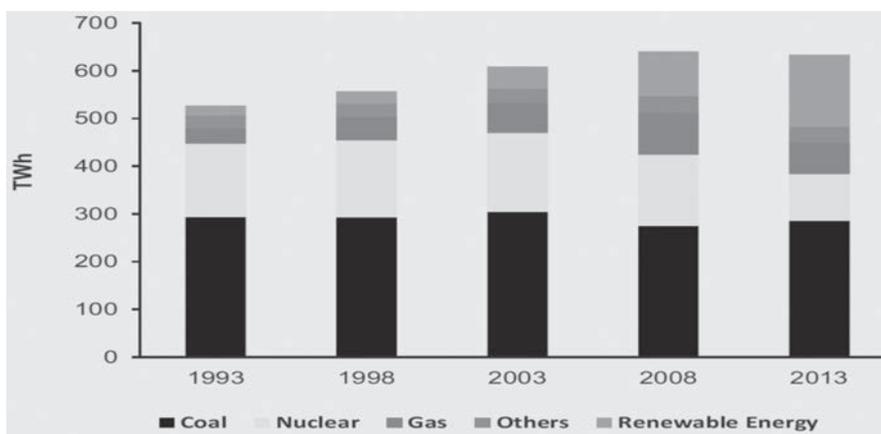
Ainda que em 2013 as térmicas movidas a carvão e as plantas nucleares tenham respondido por 45% e 15%, respectivamente, da geração total de 634

6 Os centros de carga da Alemanha estão situados nas regiões Sul e Oeste do país, as quais apresentam relevantes parques industriais. Dado que a geração de energia a partir de centrais a carvão e nucleares nestas regiões tende a não ser suficiente para o atendimento da demanda, tradicionalmente ocorre a importação de energia oriunda de outras regiões da Alemanha e de países vizinhos. Por sua vez, as regiões Norte e Oeste apresentam um grande potencial de geração de energia, especialmente de energia eólica, e costumam gerar quantidades de energia superiores à demanda e, por consequência, fluxos crescentes de energia tendem a ser transferidos das regiões Norte e Oeste para as regiões Sul e Oeste.

7 Como ilustração, com um montante de 90 bilhões de euros, os gastos com importação de energia responderam por 11% dos dispêndios totais com importações da Alemanha. Isso ocorre devido ao fato da Alemanha importar dois terços dos seus recursos energéticos. Desta forma, o uso mais intenso de fontes renováveis e ganhos de eficiência energética irão contribuir para a redução desta dependência. Dado o risco geopolítico inerente à importação de energia, vide o recente conflito entre Rússia e Ucrânia, esta redução acaba por ser um elemento promotor de segurança energética (MORRIS; PEHNT, 2015).

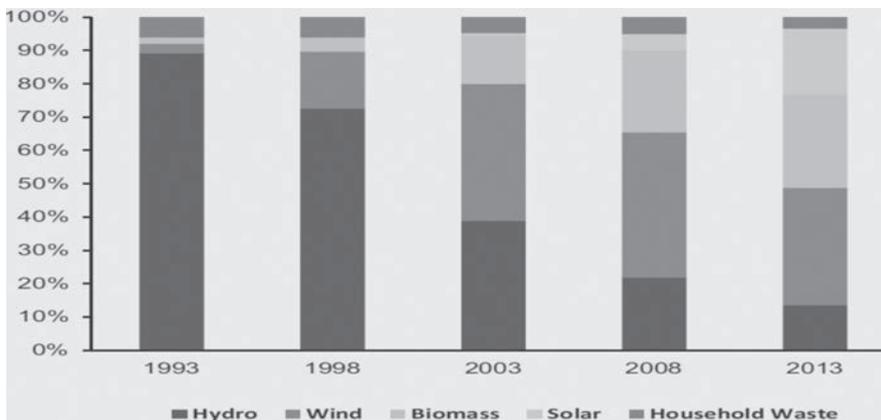
TW, enquanto as fontes renováveis apresentaram uma participação de 24% na geração, ao considerar que em 1993 as térmicas a carvão e centrais nucleares representavam, respectivamente, 56% e 29%, e as fontes renováveis diminuíram 4%, é notório o processo de transformação da composição da matriz alemã (AGEB, 2014). A evolução da matriz alemã é ilustrada pela Figura 1 que apresenta a evolução da produção de energia elétrica na Alemanha entre 1993 e 2013. Por sua vez, a Figura 2 apresenta a evolução da participação relativa das diferentes fontes renováveis e explicita que a expansão das fontes renováveis vem tendo como base investimentos em geração eólica, solar e biomassa.

Figura 1 – Evolução da Produção de Energia Elétrica: 1993-2013



Fonte: Bunekreeft et al.(2015).

Figura 2 – Evolução do Mix Produção a Partir de Fontes Renováveis: 1993-2013



Fonte: Bunekreeft et al.(2015).

As unidades de geração baseadas em fontes renováveis exigem um menor volume de capital a ser investido e possuem uma baixa escala mínima eficiente. Por estas razões, a difusão dessas unidades acaba por ser uma variável essencial para a compreensão do processo de desconcentração do mercado alemão de eletricidade. De acordo com Strunz (2014), verifica-se, não apenas pequenos investidores privados, fundos de investimento e desenvolvedores de projeto atuando no segmento de fontes renováveis, como também a presença de consumidores residenciais na condição de *prosumers* e/ou cooperativas locais⁸. Neste sentido, cabe destacar que grande parte da expansão de renováveis na Alemanha ocorre sob a forma de geração distribuída⁹.

Esta difusão de fontes renováveis traz consigo grandes desafios para a operação do sistema. Por um lado, considerando a elevada concentração de geração eólica na Região Norte e na costa Leste alemã, verifica-se a acentuação da disparidade espacial entre a geração e o consumo do sistema elétrico alemão e isso leva a já mencionada necessidade de reforço do sistema de transmissão. Contudo, o maior desafio é resultante do caráter intermitente e não controlável das fontes eólica e solar fotovoltaica, vide as consequências disso sobre a rede elétrica¹⁰.

Em linhas gerais, trata-se de problemas relativos à sobrecarga da rede em momentos de pico de geração, variações na tensão e na qualidade da energia. Dado que o sistema elétrico alemão é caracterizado por um elevado nível de confiabilidade e qualidade do suprimento¹¹, torna-se imperativa a adoção de medidas que possibilitem a manutenção da estabilidade e confiabilidade da rede. De imediato, uma das soluções mais simples é a redução compulsória da geração nos momentos em que a rede não seja capaz de absorver toda a produção a partir de fontes renováveis e, por consequência, exista a presença de congestionamentos

8 Segundo Bunekreeft *et al.* (2015), apenas 12% das instalações de fontes renováveis pertencem às tradicionais empresas de geração do setor elétrico.

9 Como ilustração desta tendência, é relevante o fato que mais de 60% das instalações fotovoltaicas estão conectadas na rede de distribuição de baixa tensão (ACKERMANN, 2014).

10 A rede elétrica alemã é composta por quatro segmentos: a rede de transmissão propriamente dita (220 kV – 380 kV) onde plantas de larga escala e/ou distantes da demanda estão conectadas. Esta rede contabiliza 35.000 km e 1.100 transformadores; a rede de alta tensão (35 kV – 110 kV), a qual consiste no maior nível de tensão da rede de distribuição e onde estão conectados grandes consumidores industriais e parques eólicos e centrais de geração fotovoltaica. Esta rede apresenta aproximadamente 95.000 km e 7.500 transformadores; a rede de média tensão (10 kV – 30 kV) onde estão conectados consumidores de médio porte e pequenas plantas de geração renovável. Sua extensão é de 507.000 km e apresenta 560.000 subestações locais; a rede de baixa tensão (230 V – 400 V) responsável pela distribuição da energia elétrica a partir das subestações para os consumidores finais, sobretudo residenciais, e mais recentemente de absorver a energia gerada a partir dos *prosumers*. Possui uma extensão de aproximadamente 1.150.000 km (BNNETZA, 2013; HEUCK *et al.*, 2010).

11 Em nível de consumo residencial, verifica-se uma média de apenas de 15 minutos de interrupção no fornecimento de energia elétrica ao longo do ano (BNETZA, 2013, CEER, 2012).

na rede. Trata-se de uma estratégia capaz de reduzir a necessidade de investimentos na rede¹², entretanto, relativamente incompatível com o objetivo de aumentar a participação de fontes renováveis na produção alemã de eletricidade.

Observa-se assim a necessidade da adoção de medidas alternativas. Estas medidas não estão restritas a reforços e melhorias da rede¹³. Em realidade, tais medidas estão em grande medida associadas ao monitoramento da rede, ou seja, nota-se o caráter essencial da utilização de tecnologias de informação e comunicação, sobretudo em nível da rede de distribuição¹⁴. Portanto, é notório que a integração em larga escala de fontes renováveis consiste na principal motivação para o desenvolvimento das *smart grids* na Alemanha em um contexto onde a flexibilização da demanda também assume relevância.

Bichler (2012) enfatiza que a transição energética alemã transcende a mudança da composição da matriz elétrica pois consiste em mudanças no sistema como um todo, incluindo a esfera econômica e o paradigma sociocultural. Logo, a forma como a energia é transmitida e distribuída também irá modificar-se com a presença de fluxos multidirecionais e de novos agentes. Neste contexto, é possível afirmar o caráter essencial das tecnologias de informação e comunicação para que o sistema elétrico possa operar de forma eficiente em meio a esta crescente complexidade.

Se o processo de liberalização do setor elétrico alemão conjugado com a difusão de fontes renováveis por si só resultou na criação de novos agentes econômicos no mercado¹⁵, as *smart grids* acentuam este processo¹⁶. Desta forma,

12 De acordo com DENA (2014), a redução de 30% do pico de produção solar fotovoltaica e de 20% do pico de produção de energia eólica poderia reduzir em até 10% a necessidade de investimentos em infraestrutura de rede até 2030, sendo que isso representaria uma redução de apenas 2% da energia produzida a partir de fontes renováveis.

13 Construção de novas subestações, conexão direta das fontes renováveis nas subestações e o uso das suas capacidades de potência reativa, melhorias nos circuitos condutores e da capacidade dos transformadores são exemplos de medidas com vistas de tornar à rede mais preparada para lidar com grandes fluxos de energia intermitente.

14 Apesar da inserção em larga escala de fontes renováveis trazer desafios referentes ao controle da frequência da rede de transmissão e, por consequência, exigir o maior controle da rede e o desenvolvimento de ferramentas de previsão da geração, a rede de transmissão alemã já é dotada de sofisticadas tecnologias de monitoramento e controle em tempo real, ou seja, já possui um elevado nível de inteligência. Desta forma, os investimentos necessários para o monitoramento e controle da rede estão associados em grande medida à rede de distribuição.

15 Não bastasse a já mencionada fragmentação da geração de eletricidade e o expressivo número de 6% dos consumidores residenciais atuando como *prosumers*, também verifica-se a existência de *virtual power plants*, comercializadores, comercializadores varejistas, empresas de consultoria em medidas de eficiência energética, etc.

16 O número total de empresas atuando no setor elétrico alemão aumentou de 15.666 em 2006 para 48.292 em 2011 (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2014a). Destaca-se a grande presença de firmas de pequeno porte, as quais totalizavam 46.297 em 2013.

destaca-se a emergência desde empresas especializadas na instalação e operação e manutenção de sistemas de medição inteligentes, assim como a provisão de serviços energéticos a partir das informações fornecidas por estes sistemas, até aquelas relacionadas ao desenvolvimento de soluções em *smart grid* e em *smat home*¹⁷.

O processo de desenvolvimento das *tecnologias de smart grids* na Alemanha vem sendo conduzido por instituições de pesquisas e pelas empresas, tanto do setor elétrico, como ofertantes de equipamentos e players da indústria de comunicação e informação. Por sua vez, o governo comumente atua mais como um promotor de debates entre os diferentes *stakeholders* com o objetivo de construir uma visão acerca das características e importância das redes inteligentes para o sistema elétrico alemão (BUNEKREEFT *et al.*, 2015).

Porém, o efetivo desenvolvimento das *smart grids* exige o estabelecimento de diretrizes e, no limite, a adoção de políticas públicas mais efetivas. Em especial, a forma como o *Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi)*¹⁸ e da BNetzA¹⁹ atuam possui grande relevância nesta dinâmica. Neste sentido, as duas próximas seções visam examinar as políticas e o arcabouço regulatório inerente às redes inteligentes na Alemanha.

9.2 – Status das *Smart Grids* na Alemanha

As diretrizes e objetivos centrais do futuro do sistema energético alemão constam no documento *The Federal Government's energy concept of 2010 and the transformation of the energy system of 2011*. De acordo com este documento, em setembro de 2010 o governo estabeleceu, não apenas as bases da política energética até 2050, como também medidas a serem adotadas com vistas à difusão de fontes renováveis, ganhos de eficiência energética e à moder-

Tais empresas comumente são provedoras de serviços ou *start-ups* (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2014b).

17 Também existe a figura do agente especializado na operação de uma rede inteligente para uma pequena distribuidora. Não obstante, pensando em *smart grid* em termos lato sensu, também devem ser considerados os operadores de infraestrutura de recarga de veículos elétricos e os provedores de serviços para estes veículos.

18 O BMWi tem a responsabilidade de formular e implementar a política energética alemã. Cabe destacar, que o *Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety (BMUB)* também influencia nas discussões relativas à política energética por tratar de questões no escopo da proteção ambiental, dentre as quais, a redução das emissões de gases do efeito estufa. No escopo das *smart grids*, três outros ministérios também precisam ser considerados: *Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure (BMVI)*, o *Federal Ministry of Labor, Social Affairs and Consumer Protection* e o *Federal Ministry of Education and Research*.

19 A BNetzA consiste no órgão regulador das indústrias de rede alemães, incluindo o setor elétrico.

nização da rede elétrica. Contudo, a opção pelo *phase out* do parque nuclear tomada em 2011 fez com que em junho de 2011 fosse anunciado um pacote complementar de medidas, o qual em grande medida visa acelerar o processo de transformação do sistema energético alemão (BMU, 2011).

No âmbito específico das *smart grids*, observa-se a promoção das mesmas através de políticas de inovação, sobretudo em termos de projetos de pesquisa e desenvolvimento. Neste sentido, destaca-se que, além dos objetivos de contribuir para o desenvolvimento de tecnologias e modelos de negócios compatíveis com a necessidade de mitigação das alterações climáticas e de consolidar as empresas alemães como *players* relevantes no desenvolvimento de tecnologias sustentáveis na área de energia, a política de implementação de projetos de pesquisa e desenvolvimento na Alemanha também visa dotar o setor energético alemão de maior flexibilidade. Logo, é perceptível a relevância dos projetos na área de *smart grid*.

Comumente, o governo participa destes projetos financiando 50% dos custos dos mesmos. No caso específico de instituições de pesquisa e universidades públicas, a participação governamental no investimento é de 100%. De todo modo, ressalta-se que os recursos públicos disponibilizados são limitados e, desta forma, existe competição entre consórcios compostos por empresas e instituições de pesquisa pelos recursos ofertados pelo governo. Neste sentido, cabe destacar que a seleção dos projetos a serem financiados é realizada através de avaliadores independentes e/ou órgãos do governo (BUNEKREEFT *et al.*, 2015).

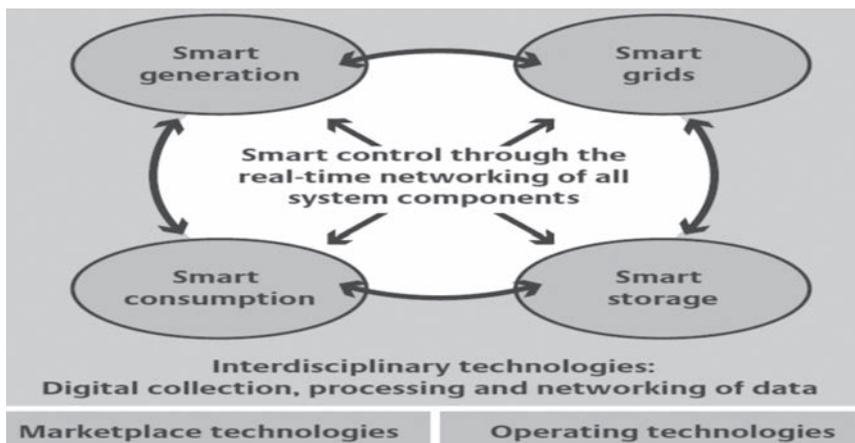
Em paralelo, destaca-se o envolvimento da indústria de comunicação e informação²⁰ no processo de desenvolvimento de *smart grids*. Esta participação tem foco não na rede de comunicações propriamente dita e sim na prestação de serviços aos consumidores finais. Neste contexto, BMWi *et al.* (2014) ressaltam a relevância de rever padrões e modelos regulatórios das redes com vistas a promover a integração entre o *Energiewende* e a agenda digital alemã, vide o reconhecimento que a transição energética requer a digitalização do setor de energia.

O principal programa de apoio a projetos de *smart grid* na Alemanha é o E-Energy criado pelo BMWi com apoio do BMU. Dada a importância das tecnologias de comunicação e informação para a solução dos desafios inerentes à transformação do setor elétrico, o projeto visa encontrar soluções para a promoção de um sistema elétrico sustentável, eficiente e flexível, onde exista a exploração dos recursos renováveis e a demanda tenha um comportamento ativo, através do desenvolvimento de projetos de demonstração que possibilitem

20 Especificamente, a *Federation of German Industries* (BDI) e *Federal Association for Information Technology, Telecommunications and New Media* (BITKOM) são entidades bastante atuantes. Estas associações não estão preocupadas meramente com modelos de negócios. Verifica-se por parte das mesmas uma especial atenção à questão da segurança dos dados. Logo, aspectos da legislação e diretrizes regulatórias sobre *smart metering*, *smart home gateways* e controles dos sistemas assumem grande relevância (BUNEKREEFT *et al.*, 2015).

testar e examinar estas soluções. A Figura 3 ilustra a complexa dinâmica que o programa possui.

Figura 3 - Escopo Analítico do Projeto E-Energy



Fonte: BMWi (2009).

O programa cunha o termo *Internet of Energy* e ressalta que o seu desenvolvimento não está restrito à esfera tecnológica. Desta forma, os projetos do programa também abordam questões relativas aos mercados e modelos de negócios a serem desenvolvidos. A implementação do programa ocorreu através de uma chamada pública com vistas a concorrência de diferentes projetos. Como resultado, foram selecionados seis consórcios para realizarem projetos acerca de temáticas diversas em diferentes regiões do país e desde dezembro de 2008 estão sendo desenvolvidos e testados fatores centrais da *Internet of Energy*. Em termos do montante financeiro envolvido, destaca-se que o BMWi destinou 60 milhões de euros para a execução das atividades do projeto enquanto que os proponentes estão investindo 80 milhões de euros, ou seja, tratam-se de dispêndios da ordem de 140 milhões de euros no total dos seis projetos (BMW, 2009).

Dentre os projetos implementados, enquanto o e-Telligence foca na integração do sistema, assim como o projeto RegModHarz possui o objetivo de integrar veículos elétricos na rede, e o MEREGIO visa a minimização da redução das emissões, o projeto Model city of Manheim busca ganhos de eficiência energética através da criação de um mercado virtual onde novos serviços energéticos sejam transacionados. Por sua vez, o projeto Smart Watts busca fazer com que a energia elétrica ofertada traga consigo diversas informações que induzam a adoção de comportamentos mais eficientes. Além destes projetos, cabe destacar o projeto E-Dema que tem o objetivo de desenvolver soluções técnicas e econômicas

referentes à geração distribuída e ao consumo de forma conjunta através do desenvolvimento de ferramentas que permitam operações em tempo real.

A partir do E-Energy, algumas importantes conclusões podem ser formuladas, especialmente em termos do comportamento do consumidor. Observa-se a pertinência de apresentar aos consumidores residenciais dados históricos e correntes transparentes do seu consumo, entretanto, consumidores industriais precisam de *feedbacks* mais sofisticados. Contudo, é importante enfatizar que a disponibilização de dados de consumo tende a não ser condição suficiente para que haja mudanças na estrutura da demanda. Logo, reconhece-se a importância de prover os consumidores de informações adicionais, dentre as quais, indicadores de eficiência e as características e custos da energia consumida, e oferecer a estes consumidores diferentes alternativas. De todo modo, é relevante destacar que os experimentos indicam um limitado potencial para os consumidores residenciais alterarem seus padrões de consumo e, por consequência, o perfil da carga do sistema. Neste sentido, as estimativas apontam um potencial de redução do consumo de apenas 5%. Em contrapartida, o potencial de redução do consumo nos setores industrial e comercial pode atingir os 20% (BAUM, 2012).

Especificamente, o projeto E-Dema resultou em importantes conclusões acerca do comportamento dos consumidores. Em síntese, é possível afirmar que as condições de mercado atuais não incitam os consumidores residenciais a adotarem medidas de *demand side management*, sobretudo *demand response*. Neste sentido, é importante ressaltar que oportunidades de *demand response* requerem a existência de diferenças entre os preços de demanda de pico e os preços fora do pico. Dado que a crescente inserção de fontes renováveis reduz estas diferenças, tais oportunidades tendem a diminuir. Em paralelo, a elasticidade preço da demanda é uma variável relevante e a mesma costuma não ser muito acentuada para os consumidores alemães (BELITZ *et al.*, 2012).

Porém, é preciso enfatizar que a continuação do processo de difusão das fontes renováveis, e a conseqüente necessidade de dotar a demanda de flexibilidade, faz com que medidas de gerenciamento da demanda assumam importância cada vez maior²¹ (BUNEKREEFT *et al.*, 2015). Desta forma, prospecta-se oportunidades de negócios no escopo dos *time of use products*, mais especificamente nas *time of use tariffs*. De todo modo, a atratividade destas medidas irá depender, não apenas da evolução dos preços de mercado, como também

21 A German Energy Agency (DENA) realizou estudo onde calcula que medidas de *demand response* possuem um potencial de atender até 60% das necessidades de balanceamento de energia do sistema em um cenário de alta penetração de fontes renováveis. Como consequência, os custos evitados seriam da ordem de 0,5 bilhões de euros por ano até 2020, valor este equivalente a 6 euro/ kW por ano da demanda de pico. A base destes resultados é que a indústria e as residências teriam, respectivamente, 2.600 MW e 60 MW de recursos de *demand side response* a serem ofertados no mercado (CEPA *et al.*, 2014).

dos custos da infraestrutura dos sistemas de medição inteligentes e como serão alocados (BUNEKREEFT *et al.*, 2015).

Cabe destacar que as oportunidades crescem em função do patamar de consumo, logo unidades residenciais com maior quantidade de pessoas e equipamentos tendem a ser mais propensas à adoção de medidas de gerenciamento da demanda. Esta relação é ilustrada com bastante clareza através da Tabela 1.

Tabela 1 – Relação entre Nível de Consumo e Gerenciamento da Demanda

| Consumption classes | Potential savings in % | Potential load shifting in % | Cost savings in € p.a. and meter (rounded values) | |
|---------------------|------------------------|------------------------------|---|---------|
| | | | Average | Maximum |
| < 2,000 kWh/a | -0.5 | 0.25 - 5 | 2.50 | 4.50 |
| 2,000 - 3,000 kWh/a | -1.0 | 0.50 - 10 | 10 | 17 |
| 3,000 - 4,000 kWh/a | -1.5 | 0.75 - 15 | 20 | 35 |
| 4,000 - 6,000 kWh/a | -2.0 | 1 - 20 | 39 | 66 |
| > 6,000 kWh/a | -2.5 | 1.25 - 25 | 75 | 130 |

Fonte: Ernst & Young (2013).

Em linhas com os resultados do E-Energy, de acordo com Bichler (2012), o *roll out* dos *smart meters* não é uma condição necessária para que a transição energética alemã ocorra. Explica-se: a integração de fontes renováveis no sistema requer a presença de apenas alguns pontos de medição inteligente. Neste sentido, Bunekreeft *et al.* (2015), com base em BNetzA (2012), corroboram o argumento que *smart meters* são parte integrante do sistema elétrico do futuro, entretanto o *roll out* não consiste em um pré-requisito para a transição energética alemã, vide que os desafios impostos podem ser equacionados através da medição de dados em subestações locais e desta forma, a instalação de medidores inteligentes deve ocorrer somente em casos críticos para a rede.

Portanto, é perceptível o ceticismo alemão em relação aos benefícios do *smart metering* e a crença que a mesma não consiste em um elemento central para o desenvolvimento de redes inteligentes. Tratam-se de concepções com implicações práticas porque acabam por delinear as diretrizes da Alemanha acerca do *roll out* de *smart meters*, conforme será visto na próxima subseção.

9.3 – Diretrizes Regulatórias e o Desenvolvimento de *Smart Grids* na Alemanha

A base legal para a introdução de medidores inteligentes na Alemanha, com vistas a se adequar a Terceira Diretiva da União Europeia para o setor elétrico

(2009/72/EC), foi dada pela revisão do *German Energy Industry Act* (EnWG) em 2011. Ficou explícita no § 21i (1), No. 8 EnWG a necessidade de realização de análise econômica, a qual está definida no § 21c (2), para o atendimento da diretiva da União Europeia acerca da instalação de sistemas de medição inteligente. Conforme § 21d, § 21e e § 21f, a instalação desses sistemas deve ocorrer somente em determinadas condições. Em síntese, a instalação está condicionada à análise de viabilidade econômica (ERNST & YOUNG, 2013).

Em contraste com a maior parte dos membros da União Europeia, a Alemanha optou por não estabelecer um *roll out* mandatório de sistemas de medição inteligentes. Esta opção é plausível diante ao fato que a análise custo-benefício para a realização de um *roll out* nas bases da União Europeia indica um custo de 20,8 bilhões de euros para a instalação de 38,5 milhões de medidores e benefícios estimados de 20,7 bilhões de euros, ou seja, não apresenta viabilidade econômica (CERVIGNI; LAROCHE, 2014).

Além de não apresentar viabilidade econômica, observa-se que o atendimento da meta da União Europeia apresentaria um custo excessivamente alto para a maior parte dos consumidores e um considerável risco financeiro em função do montante de capital requerido. Ao mesmo tempo, a difusão em larga escala de sistemas de medição inteligente até 2022²² consistiria em um considerável desafio, sobretudo devido à necessidade de testar estes sistemas (ERNST & YOUNG, 2013).

Verifica-se a existência de viabilidade apenas para grupos restritos de consumidores, essencialmente consumidores de grande porte. Neste sentido, § 21c EnWG estabelece a instalação compulsória de sistemas de medições inteligentes apenas para consumidores com consumo acima de 6.000 kWh por ano²³, novas edificações, edificações reformadas e unidades que apresentem geração a partir de fonte renovável com capacidade superior a 7 kW, ou seja, trata-se de um *roll out* seletivo (ERNST & YOUNG, 2013). Como consequência, prospecta-se que a taxa de difusão de medidores inteligentes até 2020 será de 23%, vide que o número de *smart meters* instalados seria de 11.017.000 dentro de um universo de 47.900.000 pontos de medição (EC, 2014).

Segundo Escan *et al.* (2014), é importante destacar que legalmente a regulamentação alemã estabelece uma diferenciação entre medidores inteligentes e sistemas de medição inteligentes. Explica-se: os medidores inteligentes são dispositivos que coletam dados em tempo real que possibilitam consumidores adotarem hábitos de consumo mais eficientes e sustentáveis, mas não dispõem de uma rede comunicação que habilite a transmissão das informações para outros agentes.

22 Horizonte temporal do atendimento da meta considerado no estudo.

23 Apenas 10% das residências alemãs apresentam um consumo igual ou maior que 6.000 kWh por ano.

Em contrapartida, a presença de um sistema de medição inteligente também contempla a comunicação entre o *gateway* e um módulo de segurança.

Neste sentido, ressalta-se que as diretrizes da Alemanha sobre *smart metering* presentes no § 21c (1) EnWG referem-se a sistemas de medição inteligente. Entretanto, de acordo com § 21c (5) EnWG, é pertinente a mera instalação de medidores inteligentes, os quais devem ser aptos a posteriormente serem conectados à rede de comunicação. A razoabilidade desta instalação advém do fato que a mesma consiste em uma opção custo-efetiva para os consumidores com consumo de energia elétrica inferior a 6.000 kWh por ano. Ou seja, é um meio de incitar estes consumidores a adotarem padrões de consumo mais eficientes sem a necessidade de instalar sistemas de medição inteligente, vide que a mesma não apresenta viabilidade econômica.

Não obstante, a opção alemã foi por deixar o mercado de *smart metering* aberto à competição em vez de garantir o monopólio de exploração do mesmo às concessionárias de distribuição²⁴. Concomitantemente, ressalta-se que a propriedade dos medidores é dos agentes responsáveis pelos provedores do serviço de medição²⁵. Desta forma, as distribuidoras atuam como operadoras de medição inteligente apenas no caso onde os consumidores não optarem por nenhuma outra firma prestadora do serviço (CERVIGNI; LAROUCHE, 2014).

Contudo, em linhas com o processo de liberalização do setor elétrico alemão, a implementação de um mercado competitivo do serviço de medição inteligente tende a ser um processo bastante complexo. Embora o mercado de serviços de medição permita a participação de provedores novos entrantes desde 2008, não verifica-se uma efetiva competição e, como consequência, o *roll out* acaba por se processar em um ritmo moroso. O argumento dos *players* (incluindo potenciais entrantes) deste mercado é que inexistente segurança para a realização de investimentos. Estas incertezas derivam essencialmente da ausência de modelos de negócios padronizados, de definição dos requerimentos técnicos dos equipamentos e de um regime de financiamento com regras bem definidas. Além disso, no caso dos novos entrantes, ainda existe a necessidade de serem adotados medidores compatíveis tecnicamente com as características e demanda de dados de cada distribuidora, sendo que estas exigências aumentam seus custos de transação e limitam as possibilidades da exploração de economias de escala (KRANZ; PICOT, 2011).

Desta forma, embora o mercado seja liberalizado, as distribuidoras tendem a dominar o mercado de serviços de medição por terem uma relação longa com

24 A justificativa por esta opção é a crença que a competição tende a reduzir o custo da medição inteligente.

25 Grosso modo, um provedor do serviço de medição, deve instalar o medidor e fazer sua manutenção, coletar dados. Além disso, este agente deve gerenciar e fornecer dados para outros participantes do mercado.

seus clientes e quererem manter as mesmas, vide que esta relação é um ativo estratégico e a perda de clientes representa perda de receitas. Concomitantemente, existe a tendência dos consumidores de manterem-se clientes dos seus tradicionais fornecedores de energia elétrica. Adicionalmente, o fato de legalmente as distribuidoras serem obrigadas a prestar o serviço de medição (no caso de ausência ou incapacidade do provedor de medição) induz às mesmas a terem conhecimentos sobre a evolução tecnológica do serviço de medidores inteligentes.

Dado que um dos principais objetivos da instalação de sistemas de medição inteligente, assim como do próprio desenvolvimento das *smart grids*, é possibilitar medidas de *demand response*²⁶, convém considerar o *status quo* das diretrizes regulatórias alemãs neste âmbito. Verifica-se que a regulação vigente não incita o desenvolvimento de programas de *demand response* e consiste em um entrave à entrada no mercado de provedores do serviço de agregação de carga, vide as exigências de múltiplos e complexos contratos entre estes agentes e os demais participantes do mercado. Desta forma, ressaltam-se que os padrões de gerenciamento de balanceamento dos grupos, os requerimentos para as pré-qualificações nos diferentes níveis de consumo, as exigências quanto às medições, desenvolvimento de *software*, definição de penalidades para agentes que ultrapassem determinados níveis de consumo são vistos como entraves à flexibilização da demanda através de medidas de *demand response* (SEDC, 2014).

Não obstante a política alemã de não enxergar o *roll out* de *smart meters* como um elemento central para a transição energética, existe a crença que as forças de mercado irão induzir a difusão de serviços inerentes a redes inteligentes, como é o caso das medidas de *demand response*. Porém, nota-se um problema de circularidade lógica na medida que a emergência de um *smart market* exige a disponibilização de uma infraestrutura de comunicação e informação e o suposto é que o mercado que irá disponibilizar a mesma. Neste contexto, o papel das distribuidoras assume grande importância na disponibilização desta infraestrutura. Entretanto, as distribuidoras tendem a assumir uma postura reticente diante a possibilidade de realizar estes investimentos, sobretudo por grande parte dos benefícios terem caráter sistêmicos. Adicionalmente, destaca-se que a fragmentação do segmento de distribuição na Alemanha é um entrave, pois impossibilita a exploração de economias de escala.

26 Por induzirem os consumidores finais responderem a variações no preço de energia, medidas de *demand response* reduzem a volatilidade do preço da energia no mercado atacadista, assim como mitigam poder de mercado dos principais players. Ao mesmo tempo, reduzem as necessidades de reservas operacionais do sistema e da capacidade de geração e de transmissão. Em paralelo, resalta-se que são um importante mecanismo de flexibilização da demanda, sendo assim um importante instrumento para lidar com a crescente participação de fontes intermitentes na geração (CERVIGNI; LAROCHE, 2014).

Neste sentido, é importante entender os incentivos a investimentos em tecnologias de redes inteligentes, incluindo aquelas relacionadas à automação da rede. Em linhas gerais, o planejamento da expansão/melhoria da rede alemã é comandado pelos operadores da rede e pela BNetzA, mas os demais agentes do setor elétrico, incluindo os consumidores, também influenciam nesta dinâmica²⁷ (BUNEKREEFT *et al.*, 2015).

No escopo da regulação dos custos da infraestrutura de rede²⁸, em 2009 o modelo de regulação pelo custo de serviço foi substituído por um modelo do tipo *revenue cap* que visa incentivar a eficiência. No entanto, é bastante questionável se este modelo regulatório seja capaz de incitar as empresas a optarem pelas alternativas de investimento com maior nível de automação da rede. Explica-se: os modelos de regulação pelo custo de serviço e *price cap* (*revenue cap*) possuem a base de ativos como o foco da remuneração do negócio. Porém, tecnologias de redes inteligentes caracterizam-se por uma maior proporção de OPEX em relação ao CAPEX. Logo, tende a existir uma inadequação entre os modelos de regulação tradicionais e a atratividade econômica de investimentos em redes inteligentes. Desta forma, compreende-se porque a reforma do modelo regulatório é um tema presente na agenda política do setor elétrico alemão.

Conclusão

O mercado de energia elétrica na Alemanha é caracterizado por apresentar elevado grau de confiabilidade. Frente aos novos desafios apresentados pelas mudanças no campo tecnológico, com a forte inserção das energias renováveis, crescimento da geração distribuída e novos usos para energia elétrica – como o desenvolvimento de veículos elétricos, as tecnologias de *smart grid* surgem como resposta para o gerenciamento das fontes de recursos renováveis e intermitentes, geração distribuída e da demanda que tenha um comportamento ativo.

27 Sob a ótica legal, o processo é regulamentado pelo EnWG, pelo *Energy Network Development Act* (EnLAG) e pelo *Grid Expansion Acceleration Act for Transmission Networks* (NABEG). No caso específico da rede de transmissão, o §12 EnWG estabelece que os operadores devem elaborar anualmente planos referentes à expansão da rede nos dez anos subsequentes. Estes planos são fiscalizados pela BNetzA e devem contemplar a participação pública. Por sua vez, o EnLAG trata de projetos específicos que devem ser implementados com vistas a integrar as fontes renováveis, melhorar a conexão com países vizinhos e reduzir os congestionamentos da rede. Em paralelo, o NABEG tem como base procedimentos específicos para aceleração do planejamento e, sobretudo, da efetiva expansão da rede.

28 Além da questão econômica, a regulação também trata do controle da qualidade do suprimento de energia elétrica. Neste contexto, §13 e §14 EnWG tratam das responsabilidades dos operadores da rede de transmissão e de distribuição acerca da estabilidade da rede.

No âmbito do desenvolvimento das *smart grid*, a Alemanha atua, principalmente, na implantação de políticas de inovação, com incentivos voltados para projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Com isso, o país desenvolve uma série de projetos cujo escopo transcende a linha tecnológica, abrangendo inclusive modelos de negócio relacionados à sustentabilidade ambiental e geração em pequena escala. Os projetos estão relacionados, ainda, à integração de sistemas, criação de uma base para atendimento de veículos elétricos, desenvolvimento e aprimoramento da geração distribuída e autogerenciamento de consumidores ativos. O objetivo é garantir maior flexibilidade, eficiência e sustentabilidade à rede.

No tocante ao desenvolvimento das energias renováveis, a Alemanha possui postura ativa quanto aos incentivos direcionados para essa modalidade de geração, não obstante, o governo alemão considera que a massificação do *roll out* de *smart meters* não é condição essencial para evolução das *smart grids*. Dessa forma, a Alemanha não estabeleceu o *roll out* mandatório para *smart meters*, uma vez que considera suficiente a instalação dos equipamentos em pontos estratégicos da rede.

Nesse cenário, empresas que são potenciais entrantes nesse mercado alegam que não há segurança para o investimento, uma vez que a legislação não obriga a instalação dos medidores inteligentes. Dessa forma, o governo alemão espera que as forças de mercado induzam a difusão de serviços de *smart grid*, tais como o *roll out* de *smart meters*.

Referências Bibliográficas

ACKERMANN T. *What Matters for Successful Integration of Distributed Generation*. 2013. [Online]. Available: <http://www.iea.org/media/workshops/2013/futurechallenges/9ackermann.pdf>

AGEB, Arbeitsgruppe Energiebilanzen e. V. *Stromerzeugung 1990–2013*, Statistisches Bundesamt, February 2014. [Online]. Available: http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=20140207_brd_stromerzeugung1990-2013.pdf

B.A.U.M. Consult GmbH. *Smart Energy made in Germany, Erkenntnisse zum Aufbau und zur Nutzung intelligenter Energiesysteme im Rahmen der Energiewende*. Berlin, Germany, 2014.

BDEW, Bundesverband Der Energie- Und Wasserwirtschaft e. V. *Wettbewerb 2012 – Wo steht der deutsche Energiemarkt?*. BDEW, Berlin, 2012.

BELITZ, H.-J. et al. *Technical and Economic Analysis of Future Smart Grid Applications in the E-DeMa Project*. 3rd IEEE PES – The Power Energy Society of the Institute of Electrical and Electronics Engineers. Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe), Berlin, Germany, 2012.

BICHLER, Marian. *Final Report, Smart Grids and the Energy Transformation, Mapping Smart Grid Activities in Germany*. Smart energy for Europe platform, 2012.

BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. *The Federal Governments Energy Concept of 2010 and the Transformation of the Energy System of 2011*. October 2011.

BMWi, Federal Ministry for Economic Affairs and Energy; BMUB, Federal Ministry for the Environment. *Energy Concept for an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply*. Berlin, 2009. Disponível em: <http://www.germany.info/contentblob/3043402/Daten/3903429/BMUBMWi_Energy_Concept_DD.pdf>. Acesso em: 27/07/2015

BMWi, Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. *Zahlen und Fakten Energiedaten – Nationale und international Entwicklung*, BMWi, Berlin, 2014.

BMWi, Federal Ministry for Economic Affairs and Energy; BMI, Federal Ministry of the Interior; BMVI, Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure. *Digital Agenda 2014 – 2017*. Berlin, 2014. Disponível em: <http://www.digitale-agenda.de/Content/DE/_Anlagen/2014/08/2014-08-20-digitale-agenda-engl.pdf?__blob=publicationFile&v=6>. Acesso em: 14/07/2015

BNetzA, Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen. *Monitoringbericht 2013*. BNetzA, Bonn, 2013.

BRUNEKREEFT, G. et al. (eds.). *Regulatory Pathways for Smart Grid Development in China*. Springer, 2015.

BRUNEKREEFT, G. et al. *Germany's way from conventional power grids towards smart grids*. In: BRUNEKREEFT, G., LUHMANN, T., MENZ, T., MÜLLER, S.-U., RECKNAGEL, P., (Eds.). *Regulatory Pathways For Smart Grid Development in China*. Springer Open (eBook). Germany, (2015): 45- 78.

DENA, Deutsche Energie-Agentur GmbH. *Einführung von Smart Meter in Deutschland. Analyse von Rolloutszenarien und ihrer regulatorischen Implikationen, (kurz: dena-Smart-Meter-Studie)*. Berlin, 2014. Disponível em: <<http://>

www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Energiesysteme/Dokumente/140709_dena-Smart-Meter-Studie_Endbericht_final.pdf>. Acesso em: 23/07/2015.

CEER, Council of European Energy Regulators. *5th CEER Benchmark Report on the Quality of Electricity Supply in 2011*. CEER, Brussels, 2012.

CEPA, Cambridge Economic Policy Associates Ltd., TPA Solutions & Imperial College London. *Demand Side Flexibility: The potential Benefits and State of Play in the European Union*. Final Report for ACER, Final Version, 2014. Disponível em: <http://www.acer.europa.eu/Official_documents/Acts_of_the_Agency/References/DSF_Final_Report.pdf>. Acesso em: 10/03/2015.

CERVIGNI, G., LAROUCHE, P. *Regulating Smart Metering in Europe: Technological, Economic and Legal Challenges*. Report of a Centre on Regulation in Europe (CERRE) project . Brussels, Belgium, 2014.

EIA, U.S., Energy Information Administration, 2013

ERNST & YOUNG GmbH. *Cost-benefit analysis for the comprehensive use of smart metering*“. On behalf of the Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi), Germany, 2013.

EC - European Commission. *Inquiry Pursuant To Article 17 Of Regulation (EC) No 1/2003 Into The European Gas And Electricity Sectors*. União Europeia, 2007.

EC, European Commission. *Cost-benefit analyses & state of play of smart metering deployment in the EU-27*. Commission Staff Working Document. Brussels, 2014.

ESCAN *et al.* *European Smart Metering Landscape Report*. Edition May 2014 “Utilities and Consumers”. Madrid, 2014.

EUROPEAN PARLIAMENT; COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. *Directive 96/9/EC of the European Parliament and of the Council of 11 March 1996 on the legal protection of databases*. União Europeia, 1996.

HEUCK, K., DETTMANN K. D., SCHULZ D. *Elektrische Energieversorgung*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner. Verlag, 2010

KRANZ, J. J., PICOT, A. (2011). *Toward an End-to-End Smart Grid: Overcoming Bottlenecks to Facilitate Competition and Innovation in Smart Grids*. National Regulatory Research Institute. Munich, Germany, 2011.

MORRIS, C., PEHNT, M. *Energy Transition, The German Energiewende*. Heinrich Böll Foundation. Berlin, Germany, 2015.

SEDC, Smart Energy Demand Condition. *Mapping Demand Response in Europe Today, Tracking Compliance with Article 15.8 of the Energy Efficiency Directive*. Brussels, 2014. Disponível em: <http://www.smartenergydemand.eu/wp-content/uploads/2014/04/SEDC-Mapping_DR_In_Europe-2014-04112.pdf>. Acesso em: 31/07/2015.

STATISTISCHES BUNDESAMT. *Ergebnis – 43111-0001*. Statistisches Bundesamt, 2014a.

STATISTISCHES BUNDESAMT. *Ergebnis – 52111-0001*. Statistisches Bundesamt, 2014b.

STRUNZ, S. *The German energy transition as a regime shift*. *Ecological Economics*, Leipzig, 100 (2014): 150–158.

10

O Estado da Arte do Desenvolvimento e Implementação de Tecnologias de *Smart Grids* na França: uma reflexão a partir da abordagem de Sistemas Tecnológicos

Laura Caufour, João Felipe Cury Marinho Mathias

Resumo

As tecnologias *smart grids* estão revelando-se fundamentais para enfrentar os novos desafios do setor da energia, em particular em termos de sustentabilidade ambiental. Nesse contexto, uma série de países, incluindo a França, já mostrou grande interesse em implantá-las. Este trabalho tem por objetivo central identificar as políticas públicas para o desenvolvimento de tecnologias *smart grids* na França, com destaque aos aspectos regulatórios, à luz do arcabouço teórico-analítico dos Sistemas Tecnológicos. Tende-se mostrar que, *as smart grids* ainda se encontrando em fase inicial de implementação, elas enfrentam diversas e numerosas barreiras, que não serão superadas pela mera lógica do mercado. Nesse sentido, nas fases iniciais de sua implementação, o apoio de políticas públicas é crucial para o desenvolvimento dos projetos e dos mercados ligados às tecnologias. A hipótese deste trabalho é que as *smart grids* podem ser enquadradas analiticamente como Sistemas Tecnológicos, pois essa abordagem procura focar na competição entre tecnologias novas e tecnologias incumbentes, e então nas barreiras à emergência de novos sistemas tecnológicos e à intervenção pública para contorná-las.

Introdução

O setor de energia vem passando por mudanças significativas nos últimos anos. Muitas dessas mudanças são movidas por metas ambiciosas por parte de alguns países no que tange à adoção de crescentes montantes de energia renovável, incorporando ao sistema um significativo volume de oferta de energia volátil e de caráter intermitente, trazendo à tona enormes desafios para o setor de energia elétrica.

O cenário descrito é exatamente o caso dos países-membro da União Europeia e, particularmente, da França. Para enfrentar os desafios postos, muitas

ações têm sido tomadas para modernizar a infraestrutura do setor elétrico, particularmente as políticas públicas em prol de um aumento da “inteligência” da rede, com a adoção de tecnologias conhecidas como *smart grids*, sendo as mesmas vistas na literatura da área de tecnologia e de energia como soluções diante dos problemas associados às tendências supracitadas.

Com efeito, o objetivo geral deste capítulo é apresentar o estado da arte da pesquisa, desenvolvimento e adoção das tecnologias de *smart grids* na França. O objetivo específico é apresentar as políticas públicas adotadas na França que buscam desenvolver e implementar tecnologias de *smart grids* no país.

Para alcançar os objetivos supracitados, o trabalho se apoiará na adoção de um arcabouço teórico-analítico para interpretar os incentivos à adoção e às práticas inovadoras, desde a fase de pesquisa e desenvolvimento (a fase inicial do ciclo de vida de uma tecnologia) até a sua difusão. Para este propósito o trabalho tem como base o arcabouço intitulado Sistemas de Inovação Tecnológicos, doravante Sistemas Tecnológicos.

O arcabouço de Sistemas Tecnológicos tem se tornado uma ferramenta analítica comumente utilizada para o estudo de inovações em tecnologias “*clean-tech*”. Ressalta-se que sua estrutura contempla recomendações para o desenvolvimento e difusão de novas tecnologias e sua relação com políticas climática, energética e ambiental. A definição mais simples apresenta os Sistemas Tecnológicos como uma rede de agentes interagindo sob um arcabouço institucional que envolve a geração, difusão e utilização de uma tecnologia.

Desta forma, a aplicação do arcabouço de Sistemas Tecnológicos no estudo de inovações em *smart grids* é direta. Observa-se que o caso da França oferece uma experiência híbrida de um modelo de inovação *company-led* (Electricité de France – EDF) e *government-led* (Ministério da Energia e Agência Reguladora).

Em suma, o capítulo apresenta os atores, mercados e instituições referentes ao desenvolvimento e implementação de tecnologias *smart grids* na França. A despeito do fato de a previsão para a plena implementação e difusão das tecnologias *smart grids* se efetivar em um horizonte de longo prazo, a França oferece um caso muito rico e avançado quando comparado com a maioria dos países na experiência internacional uma vez que o país tem modernizado sua infraestrutura do setor elétrico com a adoção de uma rede automatizada bem como um generalizado *roll out* de medidores inteligentes.

O capítulo está estruturado em três seções. A Seção 10.1 apresenta o arcabouço teórico-analítico para interpretar as inovações tecnológicas no setor de energia e é centrada na apresentação da abordagem de Sistemas Tecnológicos. A seguir é feito na seção 10.2 um enquadramento das tecnologias de *smart grids* no arcabouço de Sistemas Tecnológicos, apresentando os componentes, atores e instituições e explicitando a fase formativa do mesmo, bem como as barreiras ao seu desenvolvimento. Na sequência, a seção 10.3 apresenta o objetivo

específico do trabalho, qual seja a apresentação do estado da arte do desenvolvimento e adoção de tecnologias *smart grids* na França. A seção explicita o contexto de inovação no país, bem como a relevância da transição energética e apresenta as fases formativas e as barreiras encontradas no processo. Por fim, é apresentada a conclusão do trabalho.

10.1 - Inovação Tecnológica no Setor de Energia: um arcabouço metodológico

Para estudar o desenvolvimento de *smart grids* como se propõe este trabalho, é desejável a adoção de um quadro teórico-analítico adaptado à complexidade do assunto. Devido às características do conjunto de inovações tecnológicas conhecidas como *smart grids* e sua estreita relação com o fenômeno da transição energética, o trabalho se apoia na abordagem de Sistemas Tecnológicos. Portanto, cabe apresentar brevemente as origens, as características e a relevância dessa abordagem, assim como as suas modalidades de aplicação ao estudo concreto de Sistemas Tecnológicos e a elaboração de políticas necessárias à sua emergência.

10.1.1 - Referências Teóricas e Analíticas

O tema das inovações tecnológicas tem sido objeto de atenção crescente nas áreas acadêmica, empresarial e política ao longo do século 20 (ARCHIBUGI *et al.*, 1998). Na área acadêmica, as teorias de Schumpeter (1942) e a abordagem evolucionária modificaram a visão dominante na época. Assim, enquanto a teoria neoclássica considerava a inovação como um fator exógeno nos processos de crescimento e mudança econômicos, a abordagem evolucionária construiu-se a o redor da crítica dessa última, apontando as inovações como um fator endógeno determinante da mudança econômica.

Para os autores da abordagem evolucionária, entender a mudança tecnológica requer o estudo das redes microeconômicas. Essa noção de rede é fundamental, pois dela surgiu o conceito de abordagem sistêmica, ou seja, uma abordagem que leva em conta a complexidade das interações entre os atores e a importância do contexto institucional nelas.

Neste contexto, emergiu o trabalho seminal de Freeman (1987), a abordagem de sistema de inovação, a qual enfatiza que um sistema de inovação remete a todos os fatores importantes em termos econômicos, sociais, políticos ou outros que influenciam o desenvolvimento, a difusão e o uso da inovação (EDQUIST; JOHNSON, 1997, *apud* EDQUIST, 2001). Desenvolveu-se a partir dessa definição uma ampla literatura que procura definir os sistemas de inovação, assim como os métodos para aplicá-los à prática. Essa análise minuciosa passou a ser de grande relevância para os *policy makers*, pois por um lado destacou a importância da intervenção pública no processo de inovação, e por outro

forneceu as ferramentas analíticas para elaborar políticas públicas adaptadas a cada situação (EDQUIST, 2001; JACABSSON; BERGEK, 2011).

Contudo, ao longo do tempo emergiram algumas problemáticas metodológicas associadas ao estudo de sistema de inovação, principalmente relacionadas aos seus limites. Para solucioná-la e permitir uma análise mais profunda, foram criadas várias abordagens diferentes de sistemas de inovação, variando segundo os seus limites. Dentre elas, a abordagem de sistemas tecnológicos ganhou grande destaque e será o foco principal deste estudo analítico.

10.1.2 - A Abordagem de Sistemas Tecnológicos

Um sistema tecnológico é um sistema de inovação que foca em uma tecnologia específica em particular. Define-se como uma rede dinâmica de agentes interagindo numa área econômica/ industrial específica sob uma infraestrutura institucional particular e envolvendo a geração, difusão e utilização de uma tecnologia (CARLSSON; STANKIEWICZ, 1991). O arcabouço foi assim desenvolvido com o objetivo de oferecer subsídios às políticas de incentivo à inovação tecnológica.

Um dos elementos cruciais é a identificação das questões fundamentais associadas aos sistemas de inovação para a difusão e uso de novas tecnologias. Assim, o arcabouço analítico dos sistemas tecnológicos procura focar na competição entre tecnologias novas e tecnologias incumbentes, e então nas barreiras à emergência de novos sistemas tecnológicos e à intervenção pública para contorná-las. Nesse sentido, uma grande importância é dada ao papel das instituições e das políticas públicas. Esse ponto será de grande relevância no estudo do papel das políticas públicas relacionadas ao desenvolvimento de tecnologias de *smart grids*.

10.1.2.1 - Estudo de Sistemas Tecnológicos: componentes e funções

Para estudar um sistema tecnológico, precisa-se compreender os seus componentes e suas respectivas funções. Em linhas gerais, Jacobsson e Bergek (2004) destacam três elementos fundamentais:

- i. **Atores (e suas competências):** firmas, usuários, empresários, investidores, ou outras organizações. Os autores destacam a importância do “*prime mover*”, ou seja, um ator ou um conjunto de atores que tenham um poder tecnológico, financeiro ou político suficiente para influenciar fortemente o processo de desenvolvimento e difusão da tecnologia. Além disso, os atores podem criar uma força política de modo a exercerem *lobby* em relação a um determinado sistema tecnológico;

- ii. **Redes (*networks*):** importantes canais de transferência de conhecimento tanto tácito, quanto explícito¹. As redes podem ser construídas em torno de mercados e podem conseqüentemente conduzir à identificação de problemas e ao desenvolvimento de novas soluções tecnológicas. Elas também podem estabelecer-se fora do mercado e nesse caso ser vetores de uma difusão mais geral da informação e contribuir a influenciar as instituições. As redes podem moldar as visões dos atores em relação ao futuro, podendo, portanto, influenciar a percepção do que é desejável e do que é possível;
- iii. **Instituições:** estipulam as normas e regras que regulam as interações entre os atores, englobando vários segmentos da sociedade. As instituições possuem vários papéis, influenciando as estruturas de incentivo e as estruturas de demanda relacionadas às tecnologias.

Concomitantemente, podem ser identificadas algumas funções próprias aos sistemas tecnológicos. Estas funções constituem um nível intermediário entre os componentes do sistema e a sua performance (JACOBSSON; BERGEK, 2004). O seu estudo é necessário na medida em que o sistema tecnológico não é apenas uma soma dos seus componentes mais uma rede de interações e, como consequência, a avaliação dos componentes não permite avaliar o sistema como um todo (CARLSSON *et al.*, 2002). Jacobsson e Bergek (2004) identificam graças a uma ampla revisão da literatura sobre sistemas tecnológicos cinco funções básicas interligadas:

- i. A criação e a difusão de novos conhecimentos;
- ii. A orientação da direção da pesquisa entre utilizadores e fornecedores de tecnologia;
- iii. O fornecimento de recursos como o capital ou as competências;
- iv. A criação de externalidades econômicas positivas, intermediadas pelo mercado ou não;
- v. A formação de mercado².

10.1.2.2 - Emergência de Novos Sistemas Tecnológicos

O arcabouço analítico de sistemas tecnológicos apoia-se na literatura sobre ciclos de produto/atividades que tem o seu trabalho seminal em Utterback e Abernathy (1975). Assim, Jacobsson e Bergek (2004) identificam duas fases

1 O conceito de conhecimento tácito remete ao conhecimento interiorizado pelos indivíduos e, portanto, dificilmente comunicável. É relativo a situações ou contextos de ações (organizacionais, tecnológicos, etc.) particulares. Já o conhecimento explícito corresponde ao conhecimento adquirido, por exemplo, de forma oral ou escrita, como normas, modos de operação ou bases de dados.

2 A formação de mercado é crucial, pois as inovações raramente acham mercados prontos.

principais na evolução de um produto ou um setor de atividade: um período de formação seguido de um período de expansão de mercados. Dado que objetivo do trabalho buscar identificar a emergência de um novo sistema tecnológico, uma atenção particular será dada ao período de formação.

O período formativo é caracterizado por uma alta incerteza em termos de tecnologias, mercados e regulações. Com a finalidade de entender o processo de emergência do período formativo, ou seja, como os diferentes componentes de um sistema emergem e como as cinco funções supracitadas se reforçam, Jacobsson e Bergek (2004) distinguem quatro das suas características: a formação de mercado; a entrada de empresas e outras organizações; as mudanças institucionais; e a formação de coalizões em torno da nova tecnologia.

O elemento fundamental da fase formativa é a formação de mercado, pois é ele que vai induzir os demais. No período formativo, a tecnologia emergente apresenta uma superioridade em alguma dimensão ou em alguns nichos de mercado, mas subsídios governamentais são geralmente necessários. Eles permitem constituir “espaços protegidos” que servem de “*nursing market*” (ERICSSON; MAITLAND, 1989, *apud* JACOBSSON; BERGEK, 2004) onde o processo de aprendizado, a performance da nova tecnologia e as preferências dos consumidores podem ser desenvolvidos sem sofrer pressão dos mercados.

Tais espaços protegidos, por permitirem orientar a direção das pesquisas, constituem incentivos à entrada de firmas ao longo da cadeia de valor, ou seja, a segunda característica do período de formação. A importância desse processo remete aos recursos e em particular ao conhecimento trazido, aos *gaps* preenchidos ou às novas demandas satisfeitas pelas novas firmas em um sistema tecnológico. Além disso, a entrada de firmas pode permitir uma maior divisão do trabalho e assim resultar em economias externas positivas.

A terceira característica se concentra na importância crucial da mudança (ou alinhamento) institucional e das suas políticas, pois a falta dos mesmos pode resultar no bloqueio de várias funções. Em particular, o quadro institucional tem uma forte influência na legitimidade da nova tecnologia, nos atores do sistema, no seu acesso aos recursos e na formação de mercados. O conceito de mudança institucional é abrangente e multidimensional. Trata-se, sobretudo, do necessário redirecionamento das políticas de ciência e tecnologia a fim de apoiar a emergência de um novo sistema específico, mas inclui também a criação ou a regulação de mercados, as políticas fiscais, o sistema de valor ou, por exemplo, a formação de padrões.

Finalmente, a formação de coalizão em torno da nova tecnologia também tem grande importância. Ela é necessária para o engajamento dos atores nos debates políticos de modo a influenciar as instituições e a agenda política, o que pressupõe um convencimento de que a adoção de uma determinada tecnologia merece especial atenção dos *policy makers*.

Tal período formativo é muito demorado, incerto e laborioso. Segundo estudos citados por Jacobsson e Bergek (2004), ele pode durar até algumas décadas e requer investimentos iniciais cujos retornos podem parecer fracos, Contudo, ele é indispensável para alcançar certo ponto que os autores chamam de “*change in gear*”. Esse ponto marca o momento a partir do qual o sistema começa a funcionar de maneira autossustentável. Alcançá-lo requer os mercados cresçam suficientemente para permitir ao sistema de conectar-se com uma série de oportunidades em termos de tecnologia e de mercado. Essas conexões poderão potencialmente gerar um processo de causalidades cumulativas, ou seja, um ciclo de reações positivas, incluindo os componentes todos do sistema, assim como as suas funções positivas, criando assim um círculo virtuoso. Contudo, devido ao dinamismo, à instabilidade e à fragilidade inerentes a esse sistema tecnológico, Jacobsson e Bergek (2004) insistem na incerteza desse processo. Além disso, a profunda interligação dos componentes junta com o ambiente seletivo geral (além do mercado) potencialmente favorável à tecnologia incumbente podem levar rapidamente a uma falha de sistema, apesar de eventuais investimentos importantes nele. Os autores destacam quatro fatores interligados e possivelmente cumulativos de um sistema que podem impedir o seu desenvolvimento:

- i. Falha no alinhamento das instituições;
- ii. Falha na formação de mercados devida, por exemplo, a subsídios a tecnologia incumbente;
- iii. Falta de novas firmas entrando no sistema, devida, por exemplo, à falta de mercados; e
- iv. Fraqueza da conectividade das redes que podem prejudicar o processo de difusão da nova tecnologia.

Esses mecanismos podem ocorrer no período formativo, mas também durante a transição para a segunda fase. Portanto, precisam ser estudado com cuidado, assim como os mecanismos incitativos, com vistas a elaboração de políticas públicas adaptadas (JACOBSSON; BERGEK, 2004), como já foi mencionado anteriormente. Esses mecanismos e políticas no setor da energia são tratados na seção seguinte.

10.1.2.3 - Barreiras e Incentivos à Emergência de Novos Sistemas Tecnológicos na Área de Energia

Para que seja possível a identificação das barreiras (ou mecanismos de bloqueio) à difusão das tecnologias de *smart grids* na seção seguinte é pertinente estudar casos similares no setor da energia. Nesse sentido, o trabalho de Jacobsson e Bergek (2004) sobre sistemas tecnológicos na área de energia renovável na Alemanha, na

Holanda e na Suécia é de grande utilidade aqui, uma vez que as áreas de energia renovável e de *smart grids* são fortemente ligadas, a primeira sendo um poderoso *driver* da segunda. Além disso, as tecnologias relacionadas à energia renovável são mais antigas e permitem assim uma visão mais ampla do fenômeno no tempo.

Como se pode observar na Tabela 1, Jacobsson e Bergek (2004) identificam três mecanismos indutivos e cinco barreiras específicas à difusão de tecnologia de energia renovável, todos tendo uma influência em uma ou algumas das funções de um sistema tecnológico expostas anteriormente.

Tabela 1: Mecanismos de Incentivo e de Bloqueio para cada Função do Sistema Tecnológico de Algumas Tecnologias de Energia Renovável³.

| Mecanismos de incentivo | Mecanismos de bloqueio |
|--|---|
| | Criação e difusão de conhecimento novo |
| - Políticas governamentais | - Alta incerteza |
| - Entrada de novas firmas | - Conectividade fraca entre os atores |
| | - Comportamento ambíguo das firmas já estabelecidas |
| | Fornecimento de recursos |
| - Políticas governamentais | - Falta de legitimidade |
| - Entrada de novas firmas | - Comportamento ambíguo das firmas já estabelecidas |
| - <i>Feedback</i> da formação de mercado | |
| | Orientação da direção da pesquisa |
| - Políticas governamentais | - Alta incerteza |
| - Entrada de novas firmas | - Falta de legitimidade |
| - <i>Feedback</i> da formação de mercado | - Conectividade fraca entre os atores |
| | - Comportamento ambíguo das firmas já estabelecidas |
| | - Políticas governamentais |
| | Criação de externalidades econômicas positivas |
| | - Conectividade fraca entre os atores |
| | Formação de mercado |
| - Políticas governamentais | - Alta incerteza |
| - Entrada de novas firmas | - Falta de legitimidade |
| - <i>Feedback</i> da formação de mercado | - Conectividade fraca entre os atores |
| | - Comportamento ambíguo das firmas já estabelecidas |
| | - Políticas governamentais |

Fonte: Adaptação de Jacobsson e Bergek (2004).

³ Jacobsson e Bergek (2004) ressaltam que essa tabela foi elaborada a partir dos estudos de casos que por eles conduzidos, portanto, deve ser considerada apenas como uma visão geral dos mecanismos mais importantes tirados desses estudos.

Dentre os mecanismos de incentivos a atuação do governo se mostra especialmente relevante, particularmente através de financiamento de atividades de pesquisa e desenvolvimento⁴, o acesso aos recursos e a orientação das pesquisas. Inclui também instrumentos tais como subsídios a investimentos, programas de demonstração e mudanças legislativas que contribuíram à criação de mercados.

O segundo mecanismo diz respeito à entrada e atividade das firmas no sistema, permitindo o desenvolvimento de novas capacidades, e também ampliando o acesso aos recursos, bem como o desenvolvimento de novos desenhos em cada área da tecnologia e favorece a criação de mercados.

O terceiro mecanismo, o ciclo de reações oriundo da criação de mercado, também influencia várias funções, por exemplo, aumentando o número de vendas e assim gerando recursos crescentes para o desenvolvimento da tecnologia.

Em relação aos mecanismos de bloqueio ou barreiras, os dois primeiros, a alta incerteza em termos de tecnologia, de economia e de mercados, e a falta de legitimidade da nova tecnologia para os diferentes atores são barreiras comuns à emergência da maioria dos sistemas tecnológicos. Além disso, Jacobsson e Bergek (2004) apontam a fraqueza da conectividade, que remete tanto a fraqueza do aprendizado como a fraqueza das redes políticas entre os atores do sistema; o comportamento ambíguo ou hostil de certos comercializadores de energia e fornecedores de bens de capital estabelecidos; e as políticas do governo.

Tais análises levaram Jacobsson e Bergek (2004) a formularem seis desafios essenciais a serem levados em conta para os *policy makers* enfrentarem as barreiras e favorecerem a emergência de um novo sistema tecnológico:

- i. Criar condições para aparição do processo de causação cumulativa em várias novas tecnologias de energia. Esse ponto é fundamental para permitir ao sistema tornar-se autossustentável e assim não depender de intervenção pública repetida;
- ii. Criar um conhecimento de cada sistema tecnológico. Permite, por um lado, especificar os mecanismos de incentivo e de bloqueio para cada tecnologia e por outro elaborar as políticas que influenciam o padrão funcional do sistema;
- iii. Implementar uma coordenação dessas políticas;
- iv. Começar a contribuir para o processo de alinhamento institucional no período formativo;
- v. Incentivar a experimentação de vários desenhos diferentes pelos atores;
- vi. Favorecer a transição do período formativo para uma fase caracterizada pela difusão rápida e sustentada das novas tecnologias. Implica a imple-

4 Estas atividades permitem a criação de conhecimentos novos.

mentação de políticas tarifárias fortes, previsíveis e persistentes que criam condições favoráveis para os investidores.

Uma vez apresentados os desafios, Jacobsson e Bergek (2004) reconhecem a dificuldade de enfrenta-los. Assim, apontam para três questões com as quais os *policy makers* vão ter que se deparar ao tentar resolvê-los. A primeira remete à dificuldade de alcançar um conhecimento sólido de um sistema devido à forte complexidade da sua estrutura e da sua dinâmica, tornando-o muito imprevisível. Segundo, eles apontam a problemática da escala temporal por vezes muito longa e terceiro os problemas causados pelas lutas políticas para ganhar maior influência sobre as instituições. Assim torna-se importante que os *policy makers* desenvolvam certas capacidades específicas, como uma alta competência analítica, um conhecimento aprofundado dos sistemas tecnológicos relevantes, competências de coordenação, paciência, flexibilidade e força política. Por isso, eles podem procurar trabalhar com os membros das coalizões de tecnologias específicas, os representantes da indústria ou do capital privado e outras organizações tendo interesse no sistema. Os autores apontam como uma solução abrangente o reforço das coalizões criando condições favoráveis ao capital privado, pois eles consideram que a maior conquista do período formativo poderia ser o surgimento de coalizões suficientemente fortes para apoiar elementos do estado na superação de vários mecanismos de bloqueio.

Uma vez o arcabouço teórico-analítico apresentado, cabe aplicá-lo às *smart grids*. É o propósito da seção seguinte.

10.2 - *Smart grids* como um Sistema Tecnológico

É comumente admitido que as *smart grids* constituem uma resposta fundamental aos novos desafios enfrentados pelo setor da energia. Contudo, apesar de representarem novas oportunidades de negócios, observa-se que o desenvolvimento das novas tecnologias que compõem as *smart grids* não acontece de modo natural e precisa então ser apoiado pelas autoridades públicas, em particular através da regulação⁵. Entretanto, o caráter complexo, diverso e evolucionário (IEA, 2011; BRUNEKREEFT *et al.*, 2015) desse conjunto de inovações dificulta a elaboração de políticas públicas eficientes. Assim, precisa-se criar um entendimento exaustivo desse processo.

Como já fora mencionado anteriormente, o trabalho reconhece que um entendimento da complexidade do processo de implementação de *smart grids* pode ser fornecido pela abordagem de Sistemas Tecnológicos. O interesse de aplicar esse quadro teórico e analítico às *smart grids* remete ao entendimento

⁵ Esse papel pode ser desenvolvido por empresas privadas, contudo, nesse caso também uma regulação especial é necessária.

do conjunto de inovações como um sistema, o que permite entender a sua dinâmica funcional e assim identificar as barreiras ao seu desenvolvimento. A identificação das barreiras permite então a elaboração de políticas públicas precisas e eficientes para superar as falhas de mercado.

10.2.1 - Componentes

Em linhas com o discutido anteriormente, para Jacobsson e Bergek (2004) os componentes de um sistema podem ser apresentados em três categorias: os atores, as redes e as instituições. Verifica-se que a implementação das *smart grids* resulta em impactos em todas as etapas da cadeia de valor do setor elétrico, gerando ganhos potenciais no conjunto de seus atores (MEEUS *et al.*, 2010, *apud* CLASTRES, 2010). Portanto, os atores principais de um sistema tecnológico de *smart grids* são os atores principais do setor elétrico. Inclui os consumidores, que vão poder, por exemplo, controlar melhor o seu consumo; as geradoras, que terão melhor visibilidade sobre demanda a ser atendida e informações mais precisas sobre os movimentos da rede de distribuição, o que facilita o equilíbrio e a otimização dos recursos; as comercializadoras, que, por exemplo, conhecerão melhor o perfil dos seus consumidores e poderão assim criar ofertas comerciais mais adaptadas e gerenciar melhor a demanda (*demand side management*); e, finalmente, as transmissoras e distribuidoras que terão melhor visibilidade sobre os fluxos que transitam nas suas redes e poderão então garantir uma melhor otimização do sistema, uma redução das falhas e do tempo dos blecautes e uma redução das perdas (CLASTRES, 2010).

A esses atores tradicionais do setor elétrico devem adicionar-se uma série de atores que atuam em vários níveis (como por exemplo, fabricação, investimentos, pesquisa). São as universidades, centros de pesquisa e consultorias⁶; as empresas de tecnologia de comunicação e informação e de telecomunicações; todas as organizações que desenham, fabricam, testam, constroem, operam, fazem manutenção e gerenciam novas aplicações tecnológicas e em particular as soluções de *hardware* ou de serviços industriais (essas organizações atuam em muitas outras áreas além do setor elétrico); as autoridades públicas e governo; as associações representando diversos interesses; e outras organizações (EC, 2014b). Assim são múltiplos e diversos os atores de um sistema tecnológico de *smart grids*. Para ter uma visão mais clara da situação, Muench *et al.* (2014) colocam que os atores mais relevantes são os *policy makers* (incluindo as autoridades de

6 Na União Europeia, as universidades e os centros de pesquisa representam o tipo de organização que investe mais em *smart grids* com aproximadamente 30% da verba total, através de projetos de pesquisa e desenvolvimento assim como de projetos pilotos (EC, 2014b). Mais informações sobre os investimentos na Europa serão dadas posteriormente neste trabalho.

regulação)⁷, seguidos pelos fornecedores de tecnologia, as distribuidoras e os usuários (consumidores, produtores e *prosumers*).

No âmbito das redes, existem diferentes tipos principais. Podem-se citar as redes entre as empresas sob a forma de colaboração tecnológica. Por exemplo, na França, a ERDF principal distribuidora do país, e a Alstom, empresa especialista em infraestruturas de produção e operação das redes elétricas, estabeleceram em 2013 uma parceria de cinco anos para desenvolver e comercializar *softwares* de operação técnica de recursos energéticos distribuídos. Outra parte do acordo remete ao desenvolvimento em conjunto de produtos incluindo *softwares* no quadro de contratos de pesquisa (ERDF, 2013).

Existem também redes entre as empresas e o governo, como no caso da Alstom que está envolvida em trinta e três dos projetos monitorados pelo órgão regulador francês (CRE); redes entre o governo e as universidades, no quadro de parceira de pesquisa, como no caso, por exemplo, do programa “*The Future Grid Research Program*” na Austrália; e redes internacionais entre diferentes atores como, por exemplo, no quadro de transferência de tecnologia. As coalizões que serão detalhadas posteriormente nesta seção também constituem poderosos canais de transferência de conhecimento.

No que tange aos países europeus, ressalta-se o caráter central das diretrizes estabelecida pela União Europeia no processo de implementação das *smart grids* uma vez que a legislação comunitária determina em grande parte as políticas energéticas nacionais. Em suma, os “*Energy Packages*” sucessivos estabeleceram regras comuns respeito à organização e às instituições do mercado da energia. Uma série de outras legislações vem fixando regras e obrigações comuns em áreas como a interconectividade entre os diferentes países, transações no mercado atacadista, segurança do fornecimento e promoção da eficiência energética (CRISPIM *et al.*, 2014).

Em relação às *smart grids*, além do plano europeu sobre alterações climáticas que pode ser considerado como um *driver*, uma das manifestações mais notáveis da importância da União esta contido no parágrafo 2 do Anexo 1 da diretiva 2009/72/CE sobre as regras comuns do mercado interior da energia elétrica. O Anexo 1 trata em particular das medidas relativas à proteção dos consumidores e nele o parágrafo em questão estipula que os estados membros da União são responsáveis pela implementação de sistemas inteligentes de medição que favoreçam a participação ativa dos consumidores no mercado de comercialização de energia elétrica. A implantação de tal sistema pode ser

7 Os principais indutores de adoção de tecnologia em *smart grids* são as legislações. Contudo em certos casos, a adoção de tecnologia precedeu a mudança legislativa. Na Itália e na Califórnia, a implementação de medidores inteligentes foi uma decisão da distribuidora, respectivamente, para lutar contra as perdas não técnicas, e para responder à crise de energia de 2001.

subordinada a uma avaliação econômica de longo prazo dos custos e dos benefícios pelo mercado e pelos consumidores, considerados individualmente. Caso essa avaliação seja favorável, pelo menos 80% dos clientes deverão ser equipados com sistemas de medição inteligente até 2020 (EU, 2009). Assim, a maioria dos países membros da União já transformou essa diretiva em direito local e estão implementando sistemas de medição inteligente em grande escala (EC, 2014a).

Em nível local⁸ das instituições de um sistema tecnológico de *smart grids*, o quadro regulatório no sentido amplo é fundamental. Para mais bem compreendê-lo, Brunekreeft *et al.* (2015) propõem estudar as suas seis dimensões: i) a elaboração de políticas e as instituições fundamentais, ou seja, as políticas governamentais, as leis e a regulação; ii) a estrutura de mercado, caracterizada por todas as companhias envolvidas em cada etapa da cadeia de valor do setor elétrico, a composição do mercado e as condições competitivas em diferentes níveis da cadeia de valor, e os papéis e responsabilidades dos atores do mercado; iii) o desenho tarifário do mercado, ou seja, os preços da energia elétrica; iv) a regulação sobre desenvolvimento da infraestrutura e da rede; v) a coordenação da geração e do consumo, ou seja as políticas governamentais para equilibrar a geração e o consumo de energia elétrica no curto prazo; vi) o papel das tecnologias de comunicação e informação e a sua integração nos componentes do sistema ao longo da cadeia de valor do setor elétrico.

10.2.2. Fase formativa

Para dotar a rede elétrica de inteligência, se faz necessária a integração de uma série de tecnologias e componentes ao longo da cadeia de valor. No entanto, é notório que a implementação dessas tecnologias e desses componentes é feita de forma gradual em função fatores como a atratividade comercial, a compatibilidade com as tecnologias existentes, as políticas regulatórias ou os ambientes de investimento (BRUNEKREEFT *et al.*, 2015)

Assim, existe grande diversidade, de um lado, entre as tecnologias no que diz respeito ao seu nível de maturidade e, de outro, entre os países no que tange à fase de desenvolvimento de certa tecnologia. Nesse sentido, para compreender a fase atual da evolução de sistemas tecnológicos de *smart grids*, parece relevante usar o conceito de fase formativa de Jacobsson e Bergek (2004) exposto na primeira seção. Como foi sustentado pelos autores, no processo de emergência

8 O nível local designa aqui o nível de aplicação do quadro regulatório principal, ou seja, nacional no caso dos países da União Europeia e outros países centralizados, e estadual ou provincial na maioria dos países federativos. Cabe chamar atenção no caso do Brasil que apesar de ser um país federal tem um sistema elétrico altamente centralizado em nível federal.

de um novo sistema tecnológico a fase formativa é fundamental, pois é ela que determina se um processo de causalidades cumulativas (*cumulative causations*) vai surgir e tornar o sistema autossustentável ou se ele vai falhar (*market failure*). Desta forma, esta seção propõe então caracterizar a fase formativa específica aos sistemas tecnológicos de *smart grids* para poder em seguida identificar os mecanismos de bloqueio próprios e as políticas públicas desenvolvidas.

A implementação das tecnologias de *smart grids* segue um caminho evolucionário (IEA, 2011; BRUNEKREEFT *et al.*, 2015). De maneira geral, o processo como um todo é demorado (MUENCH *et al.*, 2014) e muito incerto, e a repartição dos ganhos ao longo da cadeia de valor é dificilmente identificável pelos atores (CLASTRES, 2010). Portanto, observa-se uma atuação fundamental das autoridades públicas no processo. A implementação efetiva das *smart grids* pode ser comparada com a maioria das outras inovações e assim dividida em três fases principais: pesquisa e desenvolvimento, projetos específicos de demonstração e implementação de grande escala ou *roll out*⁹ (BRUNEKREEFT *et al.*, 2015).

Nos países da União Europeia, entre 2002 e 2014 foram investidos 3,15 bilhões de euros em um total de 459 projetos de pesquisa e desenvolvimento, demonstração. Os projetos de pesquisa e desenvolvimento representam 26% do total investido, ou seja, quase 1 bilhão de euros, enquanto os projetos de demonstração respondem por 72% (EC, 2014b)¹⁰. Cabe destacar que os fundos regulatórios¹¹ e nacionais são investidos principalmente em projetos de demonstração e de *roll out*. A predominância das atividades nesse tipo de projetos explica-se pelo fato deles desenvolverem um quadro para analisar os dados quantitativos e os benefícios, o que é necessário para construir o *business case* para tecnologias de *smart grids* rentáveis.

De todo modo, como em qualquer sistema tecnológico, as atividades de pesquisa e desenvolvimento são indispensáveis na evolução das *smart grids*.

9 Cabe destacar que o *roll out* já não faz mais parte da fase formativa de um sistema tecnológico e mostra certo grau de maturidade. Contudo, será estudado nessa seção, pois no caso das *smart grids*, os projetos de *roll out* ainda são raros e remetem na maioria do tempo a implementação de uma tecnologia em particular e não às *smart grids* como um todo.

10 O estudo da Comissão Europeia (2014) aqui citado leva em conta todos os projetos de *smart grids*, ao nível da transmissão e da distribuição que tenha por objetivo tornar a rede mais integrada e inteligente através de novas tecnologias (armazenamento de energia, veículos elétricos ou geração distribuída oriunda de fontes renováveis, por exemplo) e novas capacidades relacionadas a tecnologias de comunicação e informação. É importante mencionar que os valores dos investimentos desses projetos não incluem os custos de desenvolvimento massivo de medidores inteligentes que são tratados à parte por constituir um caso mais avançado.

11 O órgão regulador não financia os projetos com os seus próprios recursos, mas através da tarifa.

Tais atividades fazem avançar as funcionalidades de *smart grids*, desenvolvendo tecnologias e ferramentas inovadoras e de nova geração nas áreas de transmissão, distribuição, armazenamento de energia e eletrônica, e permitem avanços em termos de medidas sincronizadas no tempo de certos parâmetros da rede elétrica. As universidades, centros de pesquisa e consultoras desenvolvem um papel fundamental nessa área, pois são envolvidos em 30% dos projetos de pesquisa e desenvolvimento e realizam 54% dos investimentos em *smart grids* entre 2002 e 2014 na União Europeia (EC, 2014b).

Em contrapartida, os projetos de demonstração vão desde projetos desenhados para testar a performance de uma tecnologia em diferentes ambientes operacionais aos projetos completos de experimentação no mercado no quais a tecnologia é usada nas instalações dos consumidores. O objetivo desses projetos é expor a tecnologia a um ambiente de uso realista para testar a sua adequabilidade técnica e econômica a um uso generalizado (EC, 2014b).

Finalmente, os projetos de *roll out* remetem à implementação de uma tecnologia, aplicação ou sistema como uma solução padrão dentro dos limites geográficos do projeto. Alguns projetos de *roll out* são nacionais, enquanto outros são limitados a uma área geográfica menor (EC, 2014).

Contudo é importante mencionar que esses dados não incluem o *roll out* de medidores inteligentes nem projetos pilotos realizados para estabelecer a análise custo/benefício. Devido às suas características próprias, eles são geralmente o objeto de estudos específicos (EC, 2014a). São estimados em 35 bilhões de euros os investimentos totais na Europa para instalar aproximadamente 200 milhões de medidores até 2020. Assim, a taxa de instalação de medidores no continente deveria alcançar 72% em 2020.

Na fase formativa de sistemas tecnológicos de *smart grids*, a entrada no mercado de novas organizações (*new entrants*¹²) também é muito importante. Elas permitem ampliar de um lado a estrutura de mercado horizontal entrando em competição com as empresas estabelecidas para produtos e serviços já existentes, e de outro a estrutura de mercado vertical oferecendo novos produtos ou serviços em novos mercados ou *niches*, ou usando o conhecimento existente de maneira inovadora modernizando produtos e serviços do setor elétrico (como empresas de comunicação e informação). A ampliação de estrutura de mercado horizontal permite aumentar o nível de concorrência, o que é considerado favorável à eficiência na alocação dos recursos, à baixa dos preços finais, à inovação e então a uma maior variedade de produtos e serviços competitivos propostos ao consumidor (BRUNEKREEFT *et al.*, 2015).

12 O termo “*new entrants*”, ou novos entrantes, remete aos atores que entraram recentemente em um mercado ou uma indústria.

Outro aspecto importante da fase formativa dos sistemas tecnológicos de *smart grids* remete à mudança institucional¹³. Devido aos ganhos potenciais oriundos da implementação de tecnologias *smart grids* para os atores da cadeia de valor do setor elétrico assim como aos fluxos informacionais que eles vão gerar, os sistemas de regulação devem ser adaptados para regular essas redes novas e para incentivar os investimentos. As novas ofertas tarifárias para os consumidores finais possibilitadas pelos medidores inteligentes devem favorecer a maior concorrência e então a busca por eficiências alocativas e produtivas (CLASTRES, 2010). Entretanto, segundo Meeus *et al.* (2010, *apud* CLASTRES, 2010), existem várias barreiras institucionais que freiam o uso da nova tecnologia como o preço ao consumidor final regulado, a ausência de tarifação dinâmica ou discriminatória, alguma restrição na participação ao mercado ou esquemas de eficiência energética inapropriados.

Além disso, a mudança institucional é importante para a legitimidade da tecnologia. No caso da medição inteligente em particular, a participação dos consumidores é um determinante central do sucesso da tecnologia. Precisa-se então legitimar a nova tecnologia para eles assim como criar “*smart customers*” capazes de reagir aos sinais gerados pelos novos dispositivos (HEFFNER, 2011).

Finalmente, a formação de coalizão em torno da nova tecnologia é fundamental para o desenvolvimento dos sistemas tecnológicos de *smart grids*. Existem coalizões em nível internacional, regional e nacional. Das coalizões internacionais a *International Smart Grid Action Network* (ISGAN) é a mais relevante. A ISGAN é uma organização da IEA que busca implementar um programa de cooperação em termos de *smart grids* entre os governos dos principais países atores do setor. O seu objetivo é favorecer o desenvolvimento e a implementação de tecnologias de *smart grids*, incluindo o entendimento acerca de suas práticas para promover a adoção de políticas públicas de incentivo adaptadas. Além da ISGAN, existem outras organizações internacionais que tem por missão contribuir à difusão das *smart grids* no mundo de diferentes maneiras. É o caso, por exemplo, da *Global Smart Grid Federation* (GSGF)¹⁴, que reúne diferentes coalizões nacionais, ou da *IEEE Smart Grid*, grupo profissionais de *smart grids* do mundo¹⁵.

Observa-se assim que são numerosas as coalizões em nível nacional, as quais podem se materializar na forma de cooperação entre órgãos públicos e/ou organizações existentes. Ressalta-se que, devido ao caráter multidisciplinar das *smart grids*, é necessário coordenar os esforços entre as diferentes áreas

13 Esse ponto será tratado com mais detalhamento na seção 2.2.5 sobre as políticas públicas.

14 Mais informações são disponíveis no site da GSGF: <http://www.globalsmartgridfederation.org/>

15 Mais informações são disponíveis no site da IEEE Smart Grid: <http://smartgrid.ieee.org/>

(BRUNEKREEFT *et al.*, 2015). No setor empresarial, existem alianças entre diferentes organizações para reunir *know-how*. É o caso da aliança entre Alstom e ERDF já mencionada. Esse tipo de aliança observa-se também em quase todos os projetos-pilotos que reúnem vários tipos de *know-how*. Em termos de políticas, segundo os *drivers* específicos ao um país, a implementação de *smart grids* pode necessitar a coordenação das políticas energéticas, climáticas, de inovação e/ou econômicas.

Na Europa em nível comunitário, a principal coalizão é a **European Technology Platform for Electricity Networks of the Future (ETP SmartGrids)**. Trata-se de um fórum europeu estratégico criado em 2005 que tem por objetivo a cristalização das trajetórias de pesquisa e desenvolvimento sobre política e tecnologia no setor das *smart grids*, e a ligação das iniciativas em nível europeu (ETP SMARTGRIDS, 2015). Existem outras coalizões regionais como entre os Estados Unidos e o Canadá, por exemplo, principalmente para estabelecer padrões de interoperabilidade necessários à interligação dos sistemas.

As coalizões nacionais podem também ser organizações desenhadas especificamente para ajudar na implementação de *smart grids*, reunindo diferentes *stakeholders* com diferentes interesses. No Reino Unido, por exemplo, destaca-se o *smart grids Forum* (SGF), grupo de líderes de opinião estratégicos, especialistas e investidores, e tem como objetivo identificar os desafios e as barreiras à implementação de *smart grids* e fornecer dados para ajudar a determinar o papel do OFGEM e do DECC nessa área (CRISPIM *et al.*, 2014). Na Austrália, a *Smart Grid Australia* (SGA) faz esse papel.

Portanto, a implementação de *smart grids* no mundo foi firmemente iniciada, mas ainda está na sua fase formativa e, como consequência, ainda apresenta muitos riscos. Assim, é importante identificar as potenciais barreiras à sua maturação de forma a implementar as políticas públicas necessárias para superá-las e assim possibilitar a autossustentabilidade do sistema. É o que se propõem a fazer as seções seguintes.

10.2.3. Barreiras

Apesar de serem específicas para cada país, procura-se nessa seção apresentar uma síntese das principais barreiras ao desenvolvimento de *smart grids* encontradas no mundo. Muench *et al.* (2014) destacam quatro barreiras mais discutidas na literatura: as oportunidades de negócios não percebidas pelos usuários finais (*end users*); as preocupações referentes à segurança e privacidade dos dados por parte dos usuários finais; a complexidade das tecnologias de *smart grids*; e a deficiência do planejamento em relação à segurança dos dados. Após estudo próprio e mais recente, os autores completam esta lista e estabelecem

uma classificação para sintetizar o conjunto. Assim, eles distinguem três tipos de barreiras: as barreiras que remetem a custos e benefícios; as barreiras relacionadas ao conhecimento; e as barreiras devidas a mecanismos institucionais. A Tabela 2, sintetiza estas barreiras relacionando cada barreira com a sua categoria, assim como com os atores mais envolvidos nela.

Tabela 2: Visão geral das Categorias de Barreiras a *Smart grids* por *Stakeholders*.

| | Custos e benefícios | Conhecimento | Mecanismos institucionais |
|---|---|--|--|
| Policy-makers | - Regulação prejudicando inovação - Regulação não permitindo planificação de segurança | - Alta complexidade da informação referente ao sistema energético | - Adaptação fraca da estrutura organizacional dos fabricantes de tecnologia e dos diferentes operadores das redes - Problema do agente principal |
| Fornecedores de tecnologias smart grid | - Falta de percepção de oportunidades de negócios para o desenvolvimento de tecnologias de <i>smart grids</i> . | - Incerteza respeito ao desenvolvimento do setor elétrico - Alta complexidade das tecnologias de <i>smart grids</i> | - Adaptação fraca da estrutura organizacional dos fabricantes de tecnologia e dos diferentes operadores das redes |
| Operadores da rede | - Falta de percepção de oportunidades de negócios para o desenvolvimento de tecnologias de <i>smart grids</i> . | - Falta de experiência com as tecnologias de <i>smart grids</i> | - Adaptação fraca da estrutura organizacional dos fabricantes de tecnologia e dos diferentes operadores das redes - Inexistência de infraestrutura de informação na área de energia - Problema do agente principal |
| Usuário final | - Falta de percepção de oportunidades de negócios para as aplicações de tecnologias de <i>smart grids</i> . | | - Conforto reduzido - Percepção de ameaça dos consumidores em termos de privacidade e segurança dos dados |

Fonte: Adaptação de Muench *et al.* (2014).

Em termos de barreiras relacionadas a custos e benefícios, é interessante ressaltar os comentários feitos por Jacobsson e Bergek (2011). Para esses autores, a dificuldade de identificação dos ganhos para as organizações desestimula os

investimentos, e em particular os investimentos em pesquisa e desenvolvimento, fundamentais na fase formativa. Verifica-se esse problema nos sistemas tecnológicos de *smart grids*, pois os ganhos potenciais são muito difusos ao longo da cadeia de valor do setor elétrico, o que dificulta a sua quantificação para cada ator (CLASTRES, 2010). Isso prejudica a necessária formação de mercados, uma vez que dificulta a identificação de oportunidades de negócios (MUENCH *et al.*, 2014) e assim freia o potencial impulso dos *prime movers*¹⁶. Uma regulação geral e tarifária incentivadora que permita a identificação e a repartição dos ganhos entre os diferentes atores é assim necessária para rentabilizar e então despertar os investimentos potenciais (CLASTRES, 2010).

As barreiras relacionadas ao conhecimento dizem respeito à complexidade e à incerteza da informação sobre o sistema energético e sua regulação em geral e das tecnologias de *smart grids* em particular. Os atores do setor incluindo os *policy makers* não tem conhecimento exaustivo do setor da energia que, além de estar constantemente mudando, tende a ser cada vez mais complexo com a chegada das *smart grids*. Os benefícios desses últimos também não são detalhadamente entendidos. Ainda faltam resultados das experiências e existe um desconhecimento de como as *smart grids* funcionam em condições reais de mercado. A ausência de padronização também constitui um a barreira à generalização da produção de tecnologias de *smart grids* (MUENCH *et al.*, 2014).

Finalmente, existem numerosas barreiras institucionais, que são apresentadas por *stakeholders* (*policy makers*, fabricantes de tecnologias de *smart grids*, operadores de redes e usuários). Em relação aos *policy makers*, existe um problema de demora na adaptação à nova situação. Deve-se ao fato dos sistemas de regulação até então implementados não terem sido concebidos para promover a inovação tecnológica, mas para garantir a eficiência do sistema elétrico e moderar os seus custos após a sua liberalização (MUENCH *et al.*, 2014). Além disso, existe um fator político que vem prejudicar a tomada de decisão. Os políticos devem lidar com a opinião dos seus partidos, dos seus eleitores e os fatores concretos em termos econômicos, sociais, tecnológicos, ecológicos e legais. Na hora de formular políticas, é comum os políticos focarem nos interesses dos seus partidos e dos seus eleitores potenciais, assim negligenciando os aspectos reais das problemáticas energéticas (MUENCH *et al.*, 2014). Em um sistema tecnológico de *smart grids*, podem assim constituir-se coalizões que prejudicam a legitimidade da nova tecnologia defendendo a tecnologia incumbente.

Do lado dos fabricantes de tecnologia, observa-se certa fraqueza na adaptação da estrutura organizacional. A necessidade de combinar departamentos antigamente separados como, por exemplo, *hardware* e *software*, cria novos desafios organizacionais devidos as suas culturas de trabalho diferentes. Além

16 O conceito de *prime mover* foi apresentado na seção 10.1.2.1.

disso, por causa da complexidade crescente das tecnologias de transporte de energia inteligentes, as distribuidoras precisam de mais suporte dos fabricantes de tecnologia, que devem então transformar-se em provedores de soluções. Enquanto algumas empresas já superaram esse desafio cultural, outras ainda precisam adaptar-se (MUENCH *et al.*, 2014).

Essa problemática da necessária adaptação da estrutura organizacional também vale para as distribuidoras, que devem enfrentar os novos desafios de um ambiente em constante mudança. Nesse contexto, observa-se certa relutância da parte dos executivos e dos funcionários em adotar novos padrões funcionais como ciclos de inovação mais curtos ou necessidade de priorizar a capacidade inovadora ao invés da eficiência dos custos. Além disso, apesar de ser um pré-requisito crucial para a transformação da rede em *smart grids*, a infraestrutura de informação no setor energético é um fator crítico. Constitui uma barreira institucional significativa relacionada às distribuidoras, pois a sua interrupção poderia ser altamente prejudicial. Portanto, a infraestrutura de informação precisa ter altos padrões de segurança e as suas partes críticas devem ser constantemente disponíveis. Finalmente, a última barreira dessa categoria remete ao conflito entre a duração do período necessário à rentabilização dos investimentos em *smart grids* (20 anos e mais), e a duração bem mais curta das carreiras dos tomadores de decisão nas empresas. O sucesso desses últimos é mais relacionado à performance operacional, e, portanto, eles tendem a pensar e tomar decisão no curto prazo (MUENCH *et al.* 2014).

A última categoria de barreiras institucionais é relacionada aos comportamentos dos usuários. Como já foi mencionado, o sucesso das aplicações de *demand response* depende da reação dos consumidores. Projetos-piloto mostraram que a reação desejada dos consumidores às informações colocadas é bastante limitada. Deve-se a sua falta de percepção de oportunidades de negócios ou pelo menos de ganhos pessoais de tais tecnologias. Assim, elas passam a ser vistas como uma complicação a mais no cotidiano ao invés de uma fonte de economias. Além disso, foram formuladas numerosas preocupações respeito à privacidade e à segurança dos dados coletados pelos medidores inteligentes (MUENCH *et al.*, 2014). Na maioria dos países onde eles estão implantados, em conjunto com dispositivos de *demand response*, existem associações de consumidores lutando contra. Na Holanda, os debates sobre o assunto resultaram em uma legislação única na Europa, pois as distribuidoras devem por lei oferecer medidores inteligentes aos seus clientes, mas os consumidores ganharam o direito de recusar a instalação desses conforme a sua vontade (EC, 2014a).

Uma vez enquadradas as tecnologias de *smart grids* no quadro teórico e analítico de sistemas tecnológicos, esse trabalho propõe-se a estudar o caso particular da França. Será o objeto da terceira seção.

10.3. O Estado da Arte do Desenvolvimento de *Smart Grids* na França

A França constitui um estudo de caso com riqueza analítica por duas razões principais. De um lado A França é membro do ISGAN¹⁷ e faz assim parte do grupo de países mais ativos na área de *smart grids* no mundo. Destaca-se por ser o maior investidor em volume na Europa em projetos de *smart grids*, e por ser um mercado potencialmente importante em comparação a outros países europeus, devido à sua população¹⁸. Pode-se citar para ilustrar esse ponto o mercado francês de 35 milhões de medidores inteligentes (CRE, 2015a). De outro lado, a França tem uma estrutura do setor elétrico muito peculiar, devido principalmente à predominância da empresa pública EDF presente ao longo de toda a cadeia de valor. Essa presença do Estado desenvolve um papel importante na aplicação das políticas públicas implementadas.

Essa seção propõe-se a apresentar a experiência francesa de implementação de *smart grids* à luz do quadro teórico e analítico definido, com um foco particular no aspecto regulatório. Por isso, será apresentado brevemente o contexto de inovação e transição energética na França, o que permitirá destacar as barreiras à sua superação e as políticas públicas implementadas com esse intuito.

10.3.1 - O Contexto de Inovação e Transição Energética na França

10.3.1.1 - O Contexto de Inovação

A pesquisa pública francesa é tradicionalmente centralizada em organismos públicos de pesquisa que são responsáveis pela administração estratégica, o financiamento, a execução e a avaliação da pesquisa. Contudo, desde os anos 1990, reformas vêm redefinindo as funções de diferentes órgãos. Segundo essa nova divisão, o Estado é responsável pela administração estratégica, ou seja, principalmente pela definição da estratégia nacional e pela administração dos grandes programas de financiamento como o *Programme d'investissements d'Avenir*¹⁹. Cabe à agência nacional da pesquisa (*Agence nationale de la recherche*) a responsabilidade da administração do financiamento (por projeto), à uma agência especializada independente a avaliação, e às universidades a execução da pesquisa (OCDE, 2014).

17 Os membros da ISGAN são principalmente governos. A adesão depende de um convite do *ISGAN Executive Committee* e é voluntária. Os membros entregam periodicamente relatórios sobre os seus progressos e projetos para facilitar o compartilhamento do conhecimento, a assistência técnica e a coordenação de projetos (ISGAN, 2015).

18 Com 63 milhões de habitantes em 2013, a França é o segundo país mais populoso da União Europeia junto com o Reino Unido, depois da Alemanha que conta 81 milhões de habitantes (BANQUE MONDIALE, 2015b).

19 O conceito será apresentado posteriormente nesta seção.

Assim diversos organismos e programas garantem uma forte presença pública na área da inovação industrial. O ministério da educação nacional, do ensino superior e da pesquisa assim como outros atores públicos desenvolveram numerosos dispositivos para desenvolver as atividades de pesquisa e de inovação nas empresas, para apoiar os criadores de empresas inovadoras e para favorecer as transferências de conhecimento entre as empresas e os centros de pesquisa. Os principais programas são: o crédito fiscal para a pesquisa (*le crédit impôt recherche*)²⁰; as convenções industriais de treinamento e pesquisa; os institutos Carnot²¹; a nova empresa inovadora (*la jeune entreprise innovante*); a nova empresa universitária (*la jeune entreprise universitaire*); os laboratórios ou estruturas comuns de pesquisa público/privado; os polos de competitividade (*les pôles de compétitivité*); os incubadores de empresas; o I-Lab; o empreendedorismo estudantil; as sociedades aceleração de transferência de tecnologias; os institutos de pesquisa tecnológica; e as pequenas e médias empresas no coração da Europa (MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE, 2015).

Entre esses programas, cabe apresentar aqui os três mais importantes no contexto deste trabalho. Primeiro, pode citar-se a criação em 2004 de um sistema intitulado polos de competitividades (*pôles de compétitivité*) para melhorar a competitividade do país. Um pólo de competitividade reúne, em um território definido e ao redor de uma temática precisa, pequenas e grandes empresas, laboratórios de pesquisa e institutos de formação, em estreita colaboração com as autoridades públicas nacionais. O seu objetivo principal é apoiar a inovação, priorizando projetos de pesquisa e desenvolvimento particularmente inovativos. Ele também acompanha o desenvolvimento e o crescimento das suas empresas membros ajudando-as a colocar nos mercados os novos produtos nascidos dos projetos de pesquisa (GOUVERNEMENT FRANÇAIS, 2015d).

Em segundo lugar tem-se o programa demonstradores de pesquisa (*démonstrateurs de recherche*) que experimentam em condições reais de funcionamento as opções tecnológicas oriundas das atividades de pesquisa para avaliar os seus aspectos técnicos, mas também os modelos de negócios possíveis e a sua aceitação social. Um fundo de apoio público para a realização desse programa foi implementado em 2008 (MOISAN, 2011).

Por fim, o programa de investimentos do futuro (*programme d'investissements d'avenir*) foi lançado em 2010 para continuar e amplificar a ação do fundo de demonstradores de pesquisa. Com uma verba global de 47 bilhões de euros, o

20 O crédito fiscal para a pesquisa francês é um dos mais generosos do mundo (OCDE, 2014).

21 Os Instituts Carnot são estruturas de pesquisa pública que têm por objetivos desenvolver a pesquisa em parceria, principalmente para favorecer a inovação nas empresas, tanto nas pequenas em médias empresas quanto nos grandes grupos (INSTITUTS CARNOT, 2015).

seu objetivo é promover a excelência francesa em termos de ensino superior e de pesquisa. Focando em seis eixos reconhecidos como estratégicos pelo futuro do país, ele financia um contingente de ações abrangendo a pesquisa fundamental, o treinamento, a transferência de tecnologia, inovação industrial, dentre outros (MOISAN, 2011; GOUVERNEMENT FRANÇAIS, 2015b).

O fundo de demonstradores de pesquisa e o programa de investimento do futuro são administrados pelo governo em conjunto com a agência para o controle da energia (*Agence pour la Maîtrise de l'Énergie*) e a agência nacional da pesquisa, e funcionam com um sistema de leilões específicos para cada projeto, chamados "*appel à manifestation d'intérêts*".

10.3.1.2 - A Transição Energética

Frente aos desafios nacionais e internacionais, principalmente relacionados ao clima, a política energética da França está sendo profundamente reformulada. O conceito de transição energética foi oficializado pela promulgação da lei sobre *transition énergétique pour la croissance verte* (Transição energética pelo crescimento verde) no dia 17 de agosto de 2015²². O texto fixa os grandes objetivos do novo modelo energético francês, em linhas com as diretrizes da União Europeia e, em alguns casos, com metas ainda mais ambiciosas. Mais particularmente, a lei estabelece como meta reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 40% entre 1990 e 2030, reduzir o consumo energético final em 50% entre 2012 e 2050²³, reduzir o consumo de energia fóssil em 30% entre 2012 e 2030, levar a participação das fontes de energia renováveis para 23% do consumo final bruto de energia até 2020 e em 32% até 2030, e reduzir a participação da energia nuclear na produção de energia elétrica para 50% até o ano de 2025 (MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2015b).

Para alcançar tais objetivos, a lei definiu sete eixos de ação principais: desenvolver transportes limpos; lutar contra o desperdício e promover a economia circular²⁴; favorecer as fontes de energia renováveis; reforçar a segurança

²² No momento da elaboração deste trabalho, cerca da metade dos textos estavam prontos para consulta pública. O ministério anunciou que todos deveriam ser publicados até o final do ano 2015 (MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2015b).

²³ O ritmo anual de diminuição da intensidade energética final deve alcançar 2,5% até 2030.

²⁴ A economia circular (*Économie circulaire*) constitui a concretização da transição entre um modelo de mitigação dos impactos gerados pelo modo de produção de consumo que prevalece desde a revolução industrial, a um modelo de criação de valor, positiva em termos sociais, econômicos e ambientais. Assim, inspirando-se dos ecossistemas naturais, a economia circular pretende provar que a eficiência no uso dos recursos cria

e a informação dos cidadãos sobre energia nuclear; simplificar e esclarecer os procedimentos de implementação de usinas de geração por fontes renováveis e da sua conexão às redes de transmissão e distribuição; dar aos cidadãos, às empresas, aos territórios e ao Estado o poder de atuarem juntos; e financiar e acompanhar a transição energética (MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2015b).

As *smart grids* são consideradas ter grande relevância na maioria dos eixos de ação supracitados. Nesse contexto, as tecnologias de *smart grids* estão sendo desenvolvidas e implementadas na França em particular para atender às exigências do desenvolvimento das fontes de energia renováveis, dos novos usos da energia elétrica e das questões de controle da demanda por energia (CRE, 2013). Assim, elas constituem um dos princípios estruturantes da transição energética francesa (BOUCKAERT, 2013).

Ao mesmo tempo, existem motivações de ordem desenvolvimento industrial para realização de investimentos em redes inteligentes. Em 2013, o governo francês lançou o programa "*La nouvelle France industrielle*" (A nova França industrial) que estabelece as bases do plano de reconquista industrial nacional, no intuito de fazer do país um ator determinante da terceira revolução industrial²⁵. O projeto, que se apoia em uma parceria entre o setor público e empresas privadas, principalmente pequenas e médias, está na sua fase de implementação operacional. Dentre suas 34 "alavancas" de crescimento e de criação de emprego que foram identificados, encontra-se o desenvolvimento de redes elétricas inteligentes. Nesse tema, o objetivo é desenvolver um *know how* francês em *smart grids* baseado em pesquisa e desenvolvimento de um lado e na atuação de empresas pequenas, médias e *start-ups* inovadores que exportariam tecnologia de outro (GOUVERNEMENT FRANÇAIS, 2013).

O plano de ação para implementação de *smart grids* do programa a Nova França Industrial articula-se em três partes a serem implementadas simultaneamente entre 2014 e 2015. A primeira prevê a criação de um grupo de empresas para organizar o setor e definir uma oferta em nível internacional apoiada por consultoria e investimentos públicos. A segunda parte remete à implementação de redes inteligentes em áreas prioritárias, como é o caso de *campi* universitários, com fins de formação e pesquisa. A terceira parte consiste em criar uma vantagem comparativa na corrida internacional à inovação definindo uma estratégia de pesquisa e desenvolvimento, organizando concursos de ideias para

valor econômico, social e ambiental ao mesmo tempo (INSTITUT DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE, 2015).

²⁵ No programa "*La nouvelle France industrielle*", o conceito de terceira revolução industrial é definido como o encontro da transição ecológica e energética baseada entre outro no uso de fontes de energia renováveis, e da transição digital permitida pelo desenvolvimento das tecnologias da informação e comunicação.

favorecer a emergência de soluções inovadoras oriundas de *start-ups*, e implementação de uma estrutura para acompanhá-las.

Em todas essas iniciativas, o Estado está presente tanto como investidor quanto como coordenador ou consultor. Assim, ele se compromete em acompanhar a organização da implementação de grande escala das *smart grids* através da mobilização de mecanismos de apoio financeiro assim como a adaptação do quadro legislativo e de regulatório para permitir experimentações mais avançadas do que as realizadas nos projetos pilotos atuais; acompanhar a promoção de um selo “*Smart Grid France*” na França e no mundo mobilizando as suas próprias redes ao nível internacional, incluindo os serviços econômicos regionais; mobilizar os seus serviços nos ministérios competentes (Ministério de Ensino Superior e Pesquisa, Ministério do Trabalho, do Emprego, do Diálogo Social e da Formação Profissional) para realizar um mapeamento dos cursos disponíveis e acompanhar o funcionamento operacional de uma “Academia das *smart grids*”); mobilizar os seus serviços e agências públicas para participar da discussão metodológica sobre a maximização dos retornos em termos de emprego e valor pela coletividade; envolver os atores públicos de pesquisa como pilotos de algumas ações do plano; e participar através de agências à coordenação da implantação do plano (GOUVERNEMENT FRANÇAIS, 2013).

A implementação efetiva desse plano e das suas ações será detalhada ao longo da seção 10.3.2. Contudo, não foram publicados resultados oficiais sobre o plano industrial de *smart grids* especificamente, pois em maio de 2015, o governo lançou a segunda fase do programa da Nova França Industrial que vem modificar a sua estrutura. Assim, foi decidido que os 34 planos industriais seriam então reunidos em nove soluções industriais estratégicas²⁶. O setor de *smart grids* é incluído na solução “*idades sustentáveis*”, que tem por objetivos principais: desenvolver uma gestão mais inteligente das redes de água e de energia; melhorar a performance energética das construções e a implicação dos consumidores finais; e aumentar a produtividade, a qualidade e a sustentabilidade do setor da construção (GOUVERNEMENT FRANÇAIS, 2015a). No momento da elaboração deste trabalho, ainda não foram publicados os planos de ações específicos associados a cada solução industrial.

10.3.2 - Fase Formativa das Tecnologias *Smart Grids* na França

De acordo com a CRE, serão necessários investimentos de aproximadamente 15 bilhões de euros até 2030 para o desenvolvimento de *smart grids* (MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2015b).

²⁶ As nove soluções industriais estratégicas são: novos recursos; cidades sustentáveis; mobilidade ecológica; transporte do futuro; medicina do futuro; economia dos dados; objetos inteligentes; confiança digital; e alimentação inteligente.

Verifica-se que os investimentos em projetos de *smart grids* já vêm crescendo de forma consistente desde 2002 com um pico em 2009-2010, em linhas com a tendência europeia. Entre 2002 e 2014, os investimentos da França em *smart grids* totalizaram aproximadamente 500 milhões de euros, ou seja, 16,1% dos investimentos totais na União Europeia, colocando o país no lugar de maior investidor, junto com o Reino Unido²⁷. Destes 500 milhões, 80% foram gastos em projetos de demonstração e implementação, e 20% em projetos de pesquisa. Paris, em particular, é uma das cidades europeias que concentram os maiores investimentos em termos de número de empresas e de verba na Europa com investimentos acima de 100 milhões de euros (EC, 2014b).

Existem aproximadamente 100 projetos de *smart grids* na França (EC, 2014b; CRE, 2015e), 56% sendo projetos de demonstração e *roll out* e 44% projetos de pesquisa e desenvolvimento, seguindo o padrão médio europeu, sendo oito desses projetos desenvolvidos em nível nacional, e o restante em nível local²⁸. O orçamento médio desses projetos é de aproximadamente 5 milhões de euros, o que é, junto com o Reino Unido, o maior da Europa.

Os investimentos privados em *smart grids* desenvolvem um papel importante na França, pois representam aproximadamente 60% dos investimentos totais, o que representa a maior verba em valor oriunda de fundos privados na Europa. Esses fundos privados são oriundos de recursos próprios das empresas privadas envolvidas nos projetos de *smart grids*²⁹. Outros 20% provêm de recursos públicos nacionais e 12% da Comissão Europeia. Dentre esses investimentos privados, existe certa equidade de participação entre as diferentes organizações, o que não é comum quando a verba total é tão importante. É importante também destacar o esforço nacional da França, pois a sua participação de 20% é uma das maiores na Europa (EC, 2014b).

No que diz respeito à distribuição dos investimentos por tipo de agente, os investimentos da categoria “Fabricantes, serviços de engenharia, empreiteiros,

27 O estudo da Comissão Europeia (2014) aqui citado leva em conta todos os projetos de *smart grids*, ao nível da transmissão e da distribuição que tenha por objetivo tornar a rede mais integrada e inteligente através de novas tecnologias (e.g. armazenamento de energia, veículos elétricos, geração distribuída oriunda de fontes renováveis) e novas capacidades relacionadas a tecnologias da comunicação e da informação. É importante mencionar que os valores dos investimentos desses projetos não incluem os custos de desenvolvimento massivo de medidores inteligentes que são tratados à parte por constituir um caso mais avançado.

28 Lembra-se que os projetos de *roll out* de medidores inteligentes não são incluídos nesses números (EC, 2014b).

29 Na medida em que, segundo o relatório (EC, 2014b), as outras fontes de financiamento são a comissão europeia, os órgãos públicos (agências e ministérios), e o órgão regulador, assumiu-se que a categoria “investimentos privados” inclui os investimentos da EDF. Explica-se assim parcialmente a importância dessa categoria em comparação aos outros países.

operadores e companhias de administração” são os maiores na Europa em valor assim como em participação. O valor dos investimentos da categoria “Tecnologias da informação e empresas de telecomunicação” aparece em terceiro na Europa com mais de 50 milhões de euros. Esse fato vem confirmar a vontade da França de colocar-se no papel de *workshop* das *smart grids* na Europa, conforme as suas ambições industriais anteriormente expostas (EC, 2014b).

A estrutura dos investimentos, e em particular a forte participação do setor privado assim como a diversidade dos investidores dentro deles mostra claramente mercados em formação e a entrada de novos atores, dois aspectos característicos da fase formativa.

Ressalta-se que o desenvolvimento das tecnologias associadas às *smart grids*, em função de serem muito recentes, tem como característica o fato de as atividades serem concentradas em pesquisa e desenvolvimento e projetos de demonstração (CRE, 2015f). Existem assim vários projetos que pesquisam e testam a viabilidade técnica e econômica de tecnologias específicas. Nesse contexto destaca-se o papel crucial dos “*Investissements d'Avenir*” mencionados anteriormente. Dos 2,2 bilhões de euros mobilizados por este programa em 2013, 300 milhões serviram a financiar chamadas de projetos administradas pela ADEME, na área da transição energética. Em particular, financiaram a criação de institutos de excelência para a transição energética (ITE) e as chamadas a manifestação de interesses (*appels à manifestation d'intérêt*), ou seja, tipo de leilões para projetos de pesquisa específicos.

A criação dos institutos de excelência é uma responsabilidade da *Agence Nationale de la Recherche* e visa a constituição de campus de inovação tecnológicos de nível mundial nas áreas das fontes de energia renováveis, das novas tecnologias aplicadas ao setor da energia, e da eficiência energética. Assim, resultando de duas chamadas a manifestação de interesse, foram criados nove centros de pesquisa e inovação de excelência³⁰, cada um reunindo vários atores especialistas da área em questão, e apoiando-se em uma estratégia econômica e tecnológica de médio prazo (programa de trabalho de pelo menos dez anos), projetos colaborativos, ações de treinamento comuns e investimentos compartilhados notadamente para a elaboração de protótipos, teste e demonstração (MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2015a).

30 Após a primeira chamada à manifestação de interesse, foram selecionados dois projetos: o instituto nacional para o desenvolvimento de tecnologias ecológicas e de energia descarbonizada (INDEED) em Lyon no Rhône; e o projeto de ensino e pesquisas tecnológicas chamado “Picardie Innovations” em Venette, na Oise. Após a segunda chamada a manifestação de interesse, foram selecionados sete projetos: “France Énergie Marine”; Greenstars; “L'institut français des matériaux agro-sourcés”; “L'institut photovoltaïque d'Ile-de-France”; “Supergrid”; “Geodenergies”; “L'institut véhicule décarboné et communicant et de sa mobilité”.

No caso das *smart grids*, foi criado o instituto “SuperGrid”. Administrado por Jean-François Ballet, da Alstom, e implantado perto do campus de La Doua no Rhône, SuperGrid associa grandes grupos tais como Alstom, Nexans e EDF, empresas pequenas e médias como Vettiner ou Novasic, laboratórios públicos e o polo de competitividade Tenerrdis³¹. A sua verba de 210 milhões de euros em dez anos será financiada no montante de 58% por parceiros privados (GOUVERNEMENT FRANÇAIS, 2015c). Em termos de sistema tecnológico de *smart grids*, o SuperGrid constitui uma importante coalizão.

Em paralelo, no quadro do *Fond Démonstrateur de Recherche*, a ADEME administra o financiamento dos demonstradores e plataformas tecnológicas, selecionados graças a leilões especializados (*Appels à Manifestion d'Intérêt*). com uma verba total de 3 bilhões de euro,s cujo montante de 940 milhões de euros é financiamento público, 165 milhões foram atribuídos ao financiamento de projetos de pesquisa e de demonstração na área de *smart grids*. Nesse quadro, quatro leilões foram lançados entre 2009 e 2015 (MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2015a).

As atividades de pesquisa e desenvolvimento da ERDF e da RTE também desenvolvem um papel importante nessa área e são apoiadas pela CRE. Esse ponto será detalhado posteriormente neste trabalho.

Como já fora mencionado, são mais de 100 projetos de pesquisa e desenvolvimento e demonstração contabilizados pela CRE³². Tratam-se de projetos muito diversos, que podem remeter a *smart grids* como um todo (exemplo: o projeto Sogrid em Haute Garonne et Toulouse com um verba de 26 milhões de Euros), a uma tecnologia associada às *smart grids* específica como medidores inteligentes (Exemplo: *Watt et moi* em Rhône-Alpes) ou veículos elétricos (exemplo: *Infinidrive* em 4 cidades com uma verba de 9 milhões de euros), ou a grupos de tecnologias (*Issygrid*) (CRE, 2015e).

Cada projeto envolve diversos atores complementares tanto públicos como privados, tais como empresas do setor elétrico, centros de pesquisa e universidades, autoridades públicas nacionais ou locais, fornecedores de tecnologias e empresas de tecnologia de informação e comunicação. Eles têm importância crucial no sistema tecnológico de *smart grids*, pois contribuem para a criação de mercados, e favorecem a entrada de novos atores e fortificam as redes, permitindo, assim, a circulação do conhecimento e da experiência.

Dado o caráter central dos medidores inteligentes para a implementação de redes inteligentes, é importante mencionar que a França tem uma política audaciosa acerca desta questão, planejando já o seu *roll out*. As pesquisas no

31 Tenerrdis é o polo de competitividade da região Rhône-Alpes dedicado à novas tecnologias na área de energia.

32 A lista completa dos projetos e das suas principais características é disponível no site da CRE dedicado às *smart grids*: <http://www.smartgrids-cre.fr/>

tema começaram em 2006 e materializaram-se com o decreto nº **2010-1022 de 31 de agosto de 2010 relativo aos dispositivos de medição nas redes públicas de energia elétrica**. O objetivo francês consiste em substituir a totalidade dos 35 milhões de medidores por medidores inteligentes até 2021 com vistas ao atendimento da diretiva europeia 2009/72/CE. Para isso o artigo L. 341-4 do código da energia (CRE, 2013) estipula que as distribuidoras devem implantar dispositivos permitindo às comercializadoras “proporem aos seus clientes preços diferenciados conforme o período do ano ou do dia e incentivando os usuários de redes limitarem o seu consumo durante os períodos de picos de consumo”. Além disso, o artigo 18 da Lei de 3 de agosto 2009 sobre, entre outros assuntos ligados ao meio ambiente, o cumprimento dos objetivos de eficácia e sobriedade energética³³, apresenta a implantação e a generalização dos medidores inteligentes para os clientes residenciais como objeto fundamental.

A CRE recomendou à ERDF o desenvolvimento e teste econômico e técnico de um medidor inteligente e um sistema de gerenciamento da demanda. Assim, um medidor inteligente chamado “Linky”, vem sendo testado com sucesso em 225.000 lares desde março de 2010. Em 2011, a CRE e a ERDF concluíram que a oferta desses medidores a todos os consumidores residenciais do Linky era tecnicamente e economicamente viável, planejando um investimento inicial de 4.3 bilhões de euros durante a fase de desenvolvimento massivo. A ERDF já encomendou 3 milhões de medidores a seis empresas para que sejam instalados até o fim de 2015, e uma licitação está em curso para selecionar as empresas que vão instalar esses medidores por lote de 10.000 a 20.000, região por região (ERDF, 2015b).

Outra importante dimensão da implementação das *smart grids* na França é a automação da rede que chega a representar quase 30% do total dos investimentos em projetos já mencionados (EC, 2014b). A empresa francesa Alstom, especialista em infraestruturas de produção e operação das redes elétricas está envolvida em 33 dos projetos monitorados pela CRE, como, por exemplo, Nice Grid, Smart Grid Vendée e Issy Grid para desenvolver e testar tecnologias digitais como *softwares* para monitorar e gerenciar a rede de distribuição. Graças a essa experiência, a ERDF e a Alstom, estabeleceram em 2013 uma parceria de cinco anos para desenvolver e comercializar *softwares* de operação técnica de recursos energéticos distribuídos. Outra parte do acordo remete ao desenvolvimento em conjunto de produtos incluindo *softwares* no quadro de contratos de pesquisa (ERDF, 2013). Desta maneira, a ERDF e a ALSTOM confirmam serem

33 A sobriedade energética (*sobriété énergétique* em francês) é, junto com a eficiência energética, um pilar do programa de transição energética do governo. Ele remete a novos modos de consumo, baseados no uso racional da energia e a luta contra o desperdício, que permitem diminuir o consumo de energia elétrica em termos absolutos no país.

atores importantes para a formação e consolidação do mercado de *smart grids* na França.

Em relação à rede de transmissão, ela vem sendo automatizada há alguns anos segundo recomendações da CRE. A RTE em conjunto com as geradoras, as autoridades locais, os consumidores e os industriais do setor de *smart grids* está integrando várias tecnologias de ponta à rede de transmissão francesa para permitir maior interação entre os atores do sistema elétrico francês e europeu assim como para melhorar a flexibilidade, a reatividade e a eficácia do sistema (RTE, 2014).

Observa-se, principalmente no que diz respeito à implementação de medidores inteligentes, algum início de mudança institucional, notadamente com o artigo L. 341-4 do código de energia que estabelece a implementação de um sistema de medição inteligente na França. Além disso, a CRE está trabalhando sobre uma série de reformas tarifárias que permitiram colocá-lo em prática. Assim, constata-se nesta seção que, apesar das *smart grids* serem um tema novo e da maior parte das atividades serem concentradas em pesquisa e demonstração, existem claramente mercados em formação, atores entrando neles, formação de coalizão e mudança institucional. Contudo, nesse período formativo, o desenvolvimento de *smart grids* ainda é altamente incerto e frágil, e enfrenta numerosas barreiras, o que explica a forte presença do estado em todos os projetos em curso desenvolvidos. Assim, as seções seguintes apresentam as barreiras à superação da fase formativa do sistema tecnológico de *smart grids* na França, assim como as políticas adotadas para superá-las.

10.3.3 - Barreiras

No seu plano estratégico para a implementação de *smart grids* na França, a ADEME (2013) identificou, graças a uma análise do ambiente do setor dos sistemas elétricos inteligentes, três tipos de barreiras, quais sejam, as tecnológicas, as econômicas e regulatórias e as sociais.

As barreiras tecnológicas são as mais numerosas e podem ser divididas em quatro categorias³⁴:

- i. Arquitetura e planejamento de redes: falta de ferramentas de arquitetura e de planejamento adaptados à evolução do ambiente das redes, falta de metodologia de avaliação dos custos e benefícios da implementação das funções de análise, de monitoramento e de controle em diferentes níveis do sistema, etc.;

34 As barreiras tecnológicas não serão estudadas com grande detalhamento neste trabalho, pois ele procura a focar nos aspectos econômicos e regulatórios.

- ii. Integração de novas tecnologias da energia: falta de adaptação dos equipamentos atuais das redes de distribuição a uma rede em evolução constante, falta de interoperabilidade e compatibilidade entre os equipamentos, etc.;
- iii. Exploração dos sistemas: dificuldade de análise e tratamento de um grande número de informações em um tempo reduzido; etc.;
- iv. Atividades transversais: falta de transmissão dos dados entre os diferentes atores e níveis geográficos, etc.

As barreiras econômicas e regulatórias remetem principalmente à tarifação, modelos de negócios e regulação, e são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Barreiras Econômicas e Regulatórias à Implementação de *Smart Grids* na França.

| | |
|--------------------|--|
| Tarifação | <ul style="list-style-type: none"> - Complexidade do vínculo entre tarifação e controle da demanda por energia elétrica, necessidade de definir um modelo de tarifação para incentivar a <i>demand response</i> - Necessidade de definir um nível de remuneração da flexibilidade da demanda para promover a oferta de serviços favorecendo a flexibilidade da demanda e as soluções de armazenamento - Falta de estudo sobre a competitividade comparada (incluindo todos os custos e para o mesmo nível de serviço) das diferentes tecnologias de produção e sistemas energéticos - Falta de visão sobre os custos globais para a coletividade |
| Modelo de negócios | <ul style="list-style-type: none"> - Modelos de negócios pouco ou não adaptados aos Equipamentos adicionando valor à cadeia inteira e não somente ao investidor Serviços propostos para os diferentes <i>stakeholders</i> (particularmente por causa da dificuldade de avaliação do seu valor) |
| Regulação | <ul style="list-style-type: none"> - Inexistência de padronização permitindo a troca de dados entre <i>stakeholders</i> sem colocar em risco a confidencialidade dos dados e segurança das redes, e permitindo oferecer um melhor serviço com o menor custo - Inadequação entre as regras atuais de divisão dos custos e dos benefícios (tarifação dos serviços) entre atores integrando as externalidades, e as evoluções do ambiente dos sistemas elétricos (incluindo os novos usos) |

Fonte: Adaptação de ADEME (2013).

Observa-se que as barreiras econômicas e regulatórias no sistema tecnológico de *smart grids* da França são similares às barreiras expostas na seção 10.2.3. O tema da tarifação é primordial, pois será determinante no envolvimento dos

consumidores, ou seja, a *demand response*, necessário para que a medição inteligente alcance o seus objetivos, em particular em termos de redução do consumo final e de redução do consumo de pico. Assim, precisa-se desenvolver ofertas tarifárias que incentivem os usuários a consumir menos e a flexibilizar a sua demanda no tempo. Contudo, a determinação de tais ofertas tarifárias adaptadas e diversificadas necessita uma série de informações, em particular sobre custos de produção das novas fontes de geração e sobre os comportamentos dos usuários que ainda não estão disponíveis.

Nesse contexto, a ADEME definiu como prioridades de pesquisa³⁵ os seguintes itens: definir mecanismos incitativos para motivar os usuários em participar às operações de *demand response*; definir mecanismos de apoio de incentivo à flexibilidade da demanda; elaborar e desenvolver ferramentas e mecanismos de mercado ou de tarifação dos serviços que acompanham a implementação eficaz e ótima dos sistemas elétricos com forte penetração de fontes de energia renováveis; definir sistemas tarifários para o fornecimento e o transporte da energia; criar ferramentas de mercado inovadoras para os serviços do sistema e a gestão do equilíbrio, incluindo notadamente a gestão ativa da demanda (ADEME, 2013).

No que remete à inadaptação dos modelos de negócios, o mecanismo de bloqueio também é similar ao já exposto anteriormente. Não existem na França modelos de negócio adaptados à aos equipamentos adicionando valor à cadeia inteira e não somente ao investidor, e aos serviços propostos para os diferentes *stakeholders*, particularmente por causa da dificuldade de avaliação do seu valor. Para superar essa barreira, a ADEME recomenda:

- i. Criar modelos de negócios e dispositivos de mercado inovadores para permitir uma implantação massiva de operações de *demand response* e de dispositivos de acompanhamento associados;
- ii. Desenvolver modelos organizacionais e de negócios permitindo de acompanhar as autoridades locais na gestão de seu “território energético”;
- iii. Criar modelos de negócios e de mercado para que os agregadores e as empresas de serviços energéticos em nível da região e até do bairro;
- iv. Desenvolver modelos de negócios inovadores para acompanhar a integração de sistemas de armazenamento;
- v. Desenvolver modelos de negócios adaptados à mobilidade elétrica, criar ofertas tarifárias incentivando uma otimização da carga (veículos elétricos e derivados) e favorecer o envolvimento do usuário (ADEME, 2013).

35 As prioridades de pesquisa foram determinadas por especialistas segundo as barreiras previamente identificadas e foram classificadas em três categorias: as prioridades de pesquisas em termos tecnológicos; em termos econômicos e regulatórios; e em termos de ciências humanas e sociais.

Por sua vez, a CRE (2015a) observa que, dada a integração de novos meios de produção como as fontes de energia renováveis em todos os níveis da cadeia de valor, o *business-as-usual* torna-se obsoleto. Uma vez que a integração das novas tecnologias da informação e comunicação é considerada indispensável, as empresas tradicionais do setor elétrico devem estabelecer parcerias, em particular com os provedores de tecnologia e as empresas de tecnologia de informação e comunicação, para dividir os riscos, os custos e o *know how*. Assim, como já foi mencionado a maioria dos grandes projetos de *smart grids* na França são desenvolvidos por consórcios.

Contudo, os atores não têm costume de trabalhar da maneira supracitada e existe uma diferença de dimensão temporal entre eles. As empresas tradicionais do setor elétrico funcionam no longo prazo, devido à duração de vida das instalações (usinas, linhas, medidores, etc.), enquanto os atores do setor das tecnologias de informação e comunicação costumam focar no curto prazo, devido a curta duração de vida destas tecnologias, incessantemente substituídas por novas com performance superior (CRE, 2015a).

No que diz respeito à regulação, apesar da mudança estar em curso, ainda permanecem barreiras importantes. Em particular, não existe padronização permitindo a troca de dados entre *stakeholders*, sem colocar em riscos a sua confidencialidade e as regras de segurança das redes, e permitindo oferecer um melhor serviço para o menor custo. Além disso, existe uma inadequação das regras de repartição dos custos e dos benefícios (tarifação dos serviços) entre atores, pois não integram as externalidades e as evoluções do ambiente dos sistemas elétricos (incluindo os novos usos). Assim, a ADEME (2013) preconiza a realização de estudos de modelos de organização de mercado incluindo a articulação em tempo real entre os modelos de negócios selecionados pelos atores e as escolhas regulatórias. Além disso, a CRE está trabalhando continuamente sobre a evolução e a adaptação do quadro regulatório com a chegada das *smart grids* no sistema. Este ponto será desenvolvido na próxima seção.

Finalmente, as barreiras sociais dizem respeito à adesão e adoção de tecnologias, à sua utilização e à sua difusão. Elas são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4: Barreiras Sociais à Implementação de *Smart Grids* na França.

| | |
|-----------------|---|
| Adesão e adoção | <ul style="list-style-type: none"> - Compreensão das questões energéticas globais e individuais - Adesão aos novos equipamentos e serviços - Nível de apropriação pelos domicílios de equipamentos potencialmente controlados por terceiras partes; adoção de equipamentos complexos - Pedagogia antes, durante e depois a implementação de novos equipamentos e sistemas |
| Utilização | <ul style="list-style-type: none"> - Problemas de ergonomia: Interfaces homem-máquina pouco desenvolvidos; desenhos dos equipamentos e serviços - Complexidade do dispositivo de informação à destinação dos usuários - Capacidade de fazer perdurar as mudanças de comportamentos |
| Difusão | <ul style="list-style-type: none"> - Receio de numerosos domicílios em assinar contratos os comprometendo em longo prazo - Inércia de uso variável entre domicílios que pode provocar vantagens diferenciadas, em particular nos casos de moradia coletiva - Dificuldade em coordenar um modelo industrial de desenvolvimento com concepções territoriais, comunitárias ou locais da mutualização energética |

Fonte: Adaptação de ADEME (2013).

Como foi destacado por Jacobsson e Bergek (2004), a aceitação social é fundamental para legitimidade da nova tecnologia e conseqüentemente para o desenvolvimento do seu sistema tecnológico. A Tabela 4 mostra que existem numerosas incertezas referentes a esse tema na França, em particular no que remete à medição inteligente e *demand response*. Primeiro, a adoção destas tecnologias vai depender do entendimento da sociedade tanto sobre as questões energéticas e ambientais globais, quanto da utilidade das *smart grids* para resolvê-las. Assim, um trabalho de pedagogia é indispensável à sua implementação. Segundo, precisam-se desenvolver produtos fáceis de utilização que se integram naturalmente na vida dos usuários. Outro ponto importante é ancorar as potenciais mudanças de comportamento no tempo, o que se revelou problemático em alguns casos estudados (MUENCH *et al.*, 2014). Finalmente, no que diz respeito à difusão das tecnologias, observa-se certo receio dos domicílios em assinar contratos os comprometendo em longo prazo, e uma dificuldade em coordenar um modelo industrial de desenvolvimento com concepções territoriais, comunitárias ou locais da mutualização energética.

Assim, existem numerosas barreiras e incertezas bloqueando as funções do sistema tecnológico de *smart grids* na França e assim prejudicando o seu desenvolvimento. No momento da elaboração deste trabalho, o sistema está na sua

fase formativa, e ainda precisa de forte intervenção pública para ele alcançar o ponto de *change-in-gear* e tornar-se assim autossustentável. A seção seguinte propõe-se a apresentar as políticas públicas implementadas e previstas nessa perspectiva.

10.3.4. Políticas públicas

Como se pode constatar, a emergência do sistema tecnológico de *smart grids* na França foi altamente condicionado pelas iniciativas públicas. Ainda assim, permanecem barreiras que bloqueiam as funções do sistema e o impedem de superar da sua fase formativa, caracterizada pela literatura como longa e altamente incerta (JACOBSSON; BERGEC, 2004). Portanto, a continuidade da ação das políticas públicas é necessária para alcançar o ponto de *change-in-gear*. Essas políticas públicas precisam ser cada vez mais específicas e adaptadas às barreiras supracitadas que surgiram ao longo do desenvolvimento do sistema.

Essa seção propõe-se apresentar as políticas públicas que foram e estão sendo implementadas para permitir os reforços das funções do sistema tecnológico de *smart grids* e, como consequência, o seu desenvolvimento. Por isso, será utilizada a classificação das políticas propostas por Brunekreeft *et al.* (2015), especificando a suas aplicações na França, divididas em seis grandes eixos, quais sejam:

1. Definição de uma estratégia governamental de longo prazo de desenvolvimento do sistema elétrico do futuro

Na França, a estratégia de implementação de *smart grids* é definida pelo governo, principalmente através do projeto da Nova França Industrial. Neste quadro, o plano de ação específico para o desenvolvimento de *smart grids* foi apresentado por grupo composto por vários atores do setor e apresenta as justificativas e as motivações do país em desenvolver *smart grids*, assim como os objetivos e as ações do plano para 2014 e 2015. Essas últimas são divididas em três categorias: domínio das tecnologias críticas, estruturação do ecossistema e apoio as ações de pesquisa e desenvolvimento.

Em termos legislativos, o governo adaptou o parágrafo 2 do anexo 1 da diretiva europeia 2009/72/CE do 13 de julho 2009 sobre medição inteligente ao direito nacional. Assim, o artigo L. 341-4 foi adicionado ao código da energia em 9 de maio de 2011. Ele estabelece que as distribuidoras devam implementar dispositivos permitindo às comercializadoras oferecerem aos seus clientes preços diferentes segundo os períodos do ano ou do dia e incitando os utilizadores de redes em limitar o seu consumo durante os períodos em quais o consumo total é mais alto.

2. Implementação de medidas regulatórias para incentivar as transmissoras e as distribuidoras a investir em tecnologias de *smart grids*.

O ponto crucial desta categoria é o financiamento da instalação de medidores inteligentes obrigada por lei. Na França, é esperado que esse investimento seja compensado pela redução de custos operacionais das distribuidoras. Contudo, dado o caráter excepcional do projeto devido às suas dimensões técnicas, industriais e financeiras (investimento de 5 bilhões de euros entre 2014 e 2021), a CRE aceitou em maio de 2014 o pedido da ERDF de montar um quadro regulatório tarifário particular que permita repartir sobre 20 anos o rateamento dos custos para fazê-lo combinar com o período de realização de lucros esperados do projeto (CRE, 2015c).

No que tange ao financiamento dos investimentos em pesquisa, a ferramenta crucial da CRE é a tarifa de uso das redes públicas de eletricidade (*Tarifs d'utilisation des réseaux publics d'électricité* ou TURPE). As TURPE são calculadas pela CRE (e validadas pelo governo em seguida) para que as receitas das transmissoras e distribuidoras cubram os custos de exploração, desenvolvimento e manutenção das redes (CRE, 2015c). As TURPE 4, aplicáveis desde 2013, incluem um quadro para apoiar a transmissora e as distribuidoras nas suas atividades de pesquisa e desenvolvimento e inovação. Assim, a CRE aceitou um aumento significativo das verbas de pesquisa e desenvolvimento da ERDF e da RTE que pretendem alocar a elas respectivamente 56 milhões e 27 milhões de euros em média por ano entre 2014 e 2017. No final do período, a verba alocada e não usada será restituída aos usuários. Esse mecanismo permite garantir que ela será efetivamente usada para inovação e não para ganho de eficiência. Cabe mencionar que esse dispositivo de financiamento remete a quaisquer projetos de inovação, porém, a grande maioria deles é incluída na temática das *smart grids* (CRE, 2015c).

Além disso, numerosas deliberações específicas da CRE foram publicadas para acompanhar o esforço de inovação das transmissoras e distribuidoras, notadamente em termos de administração dos projetos de demonstração. É importante chamar atenção no papel ativo da CRE em termos de experimentações para avaliar as problemáticas técnicas, econômicas e jurídicas. Como foi mencionado a CRE está seguindo todos os projetos de demonstração na França e envolve-se na difusão dos *feedbacks* dessas experiências, graças a organização de numerosas reuniões e encontros de um lado entre ela mesma e os diferentes atores, e de outro entre os diferentes atores entre si (CRE, 2013).

3. Promoção de um sistema de gerenciamento e de acesso aos dados do sistema que seja não-discriminatório

Um sistema de gerenciamento e de acesso aos dados do sistema que seja não-discriminatório permite a todas as empresas de desenvolver modelos de

negócios (*business models*) inovadores. Na França, não existe quadro jurídico específico para tratar a questão dos dados gerados pelas tecnologias de *smart grids*. Por enquanto, o quadro aplicável aos dados a caráter pessoais e então aos dados gerados pelos medidores inteligentes, é a lei nº 78-17 de 5 de janeiro de 1978 sobre informática, arquivos e liberdade modificada. A comissão nacional de informática e das liberdades (CNIL) adotou em 15 de novembro de 2012 a deliberação nº 2012-404 sobre o tratamento dos dados de consumo detalhado coletados pelos medidores. Na medida em que as informações coletadas pelos medidores inteligentes são relacionadas e permitem estabelecer padrões de consumo, elas são consideradas dados pessoais e são então objeto de uma atenção especial segundo a lei supracitada. Assim, a CNIL especifica que o tratamento das curvas de carga, por exemplo, são autorizados apenas em três casos: a manutenção e o desenvolvimento da rede pelas distribuidoras; a implementação de tarifas adaptadas ao consumo dos usuários pelas comercializadoras; e o suprimento de serviços complementares por empresas terceiras (CRE, 2015b).

Sobre essa questão da segurança dos dados, a CNIL preconiza diferentes medidas, como o pedido de aceito dos usuários para o tratamento dos seus dados, a implementação de dispositivos técnicos para impedir a coleta de informação sobre a curva de carga em intervalo menor do que dez minutos (e que assim traria um conhecimento detalhado do consumo de energia elétrica do usuário), a fixação de uma duração máxima de conservação dos dados segunda a finalidade, e uma gestão rigorosa das habilitações de acesso aos dados (CRE, 2015b).

Na mesma linha, a CNIL em cooperação com a Federação das indústrias elétricas, eletrônicas e de comunicação (FIEEC), publicaram um “pacote de conformidade” para definir as boas práticas em termos de coleta de dados oriundas de aparelhos domésticos, antecipando assim o desenvolvimento da “internet das coisas”³⁶ (CRE, 2015b).

É importante destacar que os dados coletados antes de passar pelos medidores inteligentes dos clientes não devem ser, a princípio, considerados dados pessoais, pois não são relacionados especificamente a uma pessoa física, e não se encaixam então na lei sobre dados pessoais (CRE, 2015b)

Assim, a questão do tratamento dos dados gerados pelas *smart grids* ainda é basicamente objeto de recomendações ou de lei genéricas. Contudo, um quadro jurídico específico está em curso de elaboração e traz consigo uma série de questões que deverão ser tratadas para permitir o desenvolvimento de *smart*

36 O programa internet das coisas, tradução do termo inglês *internet of things*, refere-se à extensão da internet a objetos e lugares do mundo real. Ele concretiza-se através de objetos comunicantes que se inserem no cotidiano, como cartão de transporte sem contato, medidores inteligentes, televisões conectadas, pagamentos à distância, etc. (CNIL, 2015a).

grids. Remetem à proteção das bases de dados de *smart grids*, à propriedade dos dados³⁷, às notificações de violações de dados (*data break*), e as questões concorrenciais relacionadas aos dados oriundos de *smart grids* (CRE, 2015b).

4. Financiamento governamental parcial da pesquisa e desenvolvimento para aumentar o nível de maturidade das tecnologias de *smart grids*:

Além dos incentivos ao investimento em pesquisa e desenvolvimento através da TURPE, financiamentos complementares provêm de programa de incentivos como o fundo de demonstradores de pesquisa ou os *investissements d'avenir* administrados pela ADEME desde 2010, ou de programas quadro para a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico da União Europeia. Os leilões realizados no quadro desses programas facilitam o lançamento de projetos inovadores e a aproximação de atores diversos com especialidades complementares, como, por exemplo, atores tradicionais do setor elétrico e fornecedores de tecnologias.

5. Apoio à padronização relativa à rede, definição de diretrizes técnicas e de regulação para reduzir os custos de *roll out* e integração de diferentes componentes de *smart grids* garantindo a interoperabilidade do sistema

No caso das *smart grids*, a padronização deve incluir o setor elétrico e o setor de telecomunicações. Geograficamente, existem três diferentes níveis relevantes, ou seja, o nível internacional, o nível europeu e o nível francês. A CRE (2015d) insiste na necessidade de uma padronização nacional, para permitir a interoperabilidade do sistema, mas considera o nível internacional como prevacente, entre outros para que as tecnologias francesas sejam facilmente exportáveis.

Em nível internacional, a Comissão Eletrotécnica Internacional (CEI) criou um grupo estratégico tendo por objetivo fazer recomendações sobre a padronização na área de redes inteligentes, identificar normas existentes, garantir a coordenação da sua atualização e formular conselhos sobre potenciais novas normas internacionais na área. Graças a esse trabalho, a CEI já publicou numerosas normas internacionais únicas que permitem a implementação de *smart grids* no mundo. Contudo, assunto é muito recente e ainda existe, de um lado, muita incerteza sobre o futuro das normas internacionais, e de outro, muitas diferenças entre as normas regionais, principalmente entre a Europa e os Estados Unidos (CRE, 2015d).

³⁷ A questão da propriedade dos dados é ainda mais urgente de ser tratada, pois atualmente não existe nenhum regime jurídico que possa enquadrá-la, que seja para os dados pessoais ou pelos outros (CRE, 2015b).

Na Europa, a Comissão Europeia emitiu em 2010 o mandato chamado M/490 para elaborar um plano de ação sobre normalização, e em particular ao criar um modelo de uma arquitetura de referência, identificar e formalizar os casos de uso e selecionar um primeiro conjunto de normas e necessidades prioritárias no curto prazo (CRE, 2015d). As suas atividades cessaram em 2014.

Os atores franceses são significativamente envolvidos nos processos de padronização no seio da UE e do resto do mundo. Seis dos 13 membros do grupo de pilotagem das operações na Europa eram franceses, e três dos quatro grupos de trabalho eram administrados por representantes de empresas francesas (Alcatel, Alstom e Shneider Electric). Em nível internacional, os atores franceses e em particular a EDF são fortemente envolvidos nas atividades de pilotagem das comissões técnicas e nos temas de proteção dos dados (CRE, 2015d).

6. Promoção dos intercâmbios e da colaboração entre as diferentes organizações governamentais, as empresas do setor elétrico e outros atores relevantes para criar um entendimento comum das *smart grids*

Como foi abordado anteriormente, a CRE reserva grande esforço nessa área. Esse trabalho começou em outubro de 2012, com um seminário que reuniu atores do setor elétrico e autoridades públicas locais para fazê-las dialogar sobre as suas preocupações e expectativas em termos de regulação em um contexto de grande mudança. Em 2013, foram organizadas entrevistas regulares entre a CRE e autoridades públicas locais (municípios, departamentos e regiões) para entender as evoluções do setor da energia em nível local e as expectativas *vis-à-vis* o órgão regulador. Na mesma linha, a CRE reúne atores locais ao redor de mesas de discussão sobre a regulação e participa de vários eventos sobre a transição energética. Essas múltiplas trocas permitem a CRE familiarizar-se com as questões técnicas, econômicas e jurídicas das autoridades públicas locais e assim acelerar o desenvolvimento das *smart grids* (CRE, 2013).

Paralelamente, no contexto do seguimento dos projetos de demonstração de *smart grids*, a CRE organiza regularmente reuniões com os diferentes atores e administradores de projetos, assim como com a ADEME sobre as chamadas a manifestação de interesse financiadas pelo *investissements d'avenir*. Nessas reuniões, os diferentes *stakeholders* podem apresentar o seus projetos e compartilhar as suas conclusões (CRE, 2013).

Finalmente, a CRE mantém um site internet³⁸ dedicado às *smart grids*, que serve de ferramenta de difusão e de promoção dos trabalhos e experimentações realizadas na França e no mundo. Desde 2010, ela publicou vários estudos sobre temáticas relacionadas à *smart grids* como os veículos elétricos, a integração de fontes renováveis de energia ou o armazenamento por exemplo. Existem

³⁸ www.smartgrids-cre.fr

mais de 100 atores do setor das *smart grids* participando regularmente nos diferentes conteúdos do site.

Conclusão

A adoção de tecnologias de *smart grids* na França obedece a algumas características importantes de um modelo híbrido com características de *company-led* (em função da estrutura de mercado quase monopolizada) e *government-led* (em função da forte atuação do governo francês e da agência reguladora). A abordagem de Sistemas Tecnológicos empregada explicitou a presença marcante dos atores envolvidos, bem como a identificação da fase formativa e das barreiras à adoção das tecnologias de *smart grids* no país.

O arcabouço teórico-analítico empregado se propôs a identificar os elementos cruciais de um Sistema Tecnológico e adaptá-los às tecnologias de *smart grids* para, então, aplicá-los ao caso da França, destacando, como já mencionado, os atores e as instituições envolvidas. A motivação para a escolha desse arcabouço recai sobre a sua fácil adaptabilidade às tecnologias associadas ao fenômeno da transição energética (*clean-tech*). É nesse sentido que as *smart grids* estão associadas ao caso da França.

As diretivas europeias em direção às metas ambientais ousadas de redução de emissões trouxeram consigo a necessidade de adoção de maneira mais agressiva de tecnologias que propiciem a transição para uma economia de baixo carbono. Nesse sentido, as tecnologias de *smart grids* propiciam as condições para a modernização da infraestrutura do setor elétrico preparando-o para as necessidades que emergem da transição energética, o que inclui a absorção pelo sistema de grande volume de energia renovável de caráter intermitente e de fontes distribuídas.

Ao mesmo tempo, há desafios crescentes no que tange às políticas de eficiência energética, o que confere às tecnologias de *smart grids*, particularmente os medidores inteligentes, um papel preponderante no processo. O *roll out* de medidores inteligentes em curso na França é concebido por um *mix* de esforços dado pela força de mercado da EDF (particularmente seu braço da distribuição ERDF), o que confere um peso ao modelo *company-led* e, ao mesmo tempo, é devido a vários esforços do governo da França (Ministério da Energia) e da autoridade reguladora (CRE), o que sugere um modelo *government-led*.

Em que pese o avanço na adoção de tecnologias *smart grids* na França (notadamente a rede automatizada e o *roll out* de medidores inteligentes) foram identificadas barreiras ao desenvolvimento e difusão das mesmas, o que sugere um processo em desenvolvimento e com eventuais mudanças de curso que possibilitem o “*change in gear*” e a conseqüente difusão plena das tecnologias de *smart grids* no país, processo que deve se concluir no longo prazo.

Referências Bibliográficas

ADEME, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, *Système électriques intelligents: Feuille de route stratégique*, 2013. Disponível em: < <http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/systemes-electriques-intelligents-7651.pdf> >.

ARCHIBUGI D., HOWELLS J., MICHIE J., *Innovation system in a global economy*, Center for Research on Innovation and Competition, The University of Manchester, Manchester, 1998.

BOUCKAERT S., *Contribution des Smart Grids à la transition énergétique : évaluation dans des scénarios long terme*, Tese de D.Sc, École nationale supérieur des mines de Paris, Paris, França, Dezembro de 2013.

BRUNEKREEFT G., LUHMANN T., MENZ T., MÜLLER S.U. e RECKNAGEL P., *Regulatory Pathways For Smart Grid Development in China*. In: BRUNEKREEFT G., LUHMANN T., MENZ T., MÜLLER S.U. e RECKNAGEL P., *Conceptual framework and background*, Springer Vieweg, 2015.

CARLSSON B., STANKIEWICZ R., *On the nature, function, and composition of technological systems*, Journal of Evolutionary Economics (1), pp, 93-118, 1991.

CARLSSON B., JACOBSSON S., HOLMÉN M., RICKNE A., *Innovation systems: analytical and methodological issues*, Research Policy (31), pp. 233-245, 2002.

CLASTRES C., *Les réseaux intelligents: régulation investissement et gestion de la demande électrique*, Cahier de recherche LEPII (39), PP. 28, 2010.

CRE, Commission de Régulation de l'Énergie, *Consultation publique de la Commission de régulation de l'énergie sur le développement des réseaux électriques intelligents en basse tension*, 4 de novembro de 2013.

CRE (2015a), Commission de Régulation de l'Énergie , *Comment construire un modèle d'affaire?*. Disponível em: < <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=modeles-modele-affaires> >. Acesso em: 11 de outubro de 2015.

CRE (2015b), Commission de Régulation de l'Énergie, *La gestion des données*. Disponível em: < <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=gestion-donnees> >. Acesso em: 29 de outubro de 2015.

CRE (2015c), Commission de Régulation de l'Énergie, *Le cadre tarifaire mis en place par la CRE pour favoriser les investissements de R&D dans les réseaux*

électriques. Disponível em: < <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=cadre-tarifaire-cre> >. Acesso em: 29 de outubro de 2015.

CRE (2015d), Commission de Régulation de l'Énergie, *Normalisation*. Disponível em: < <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=normalisation-essentiel> >. Acesso em: 29 de outubro de 2015.

CRE (2015e), Commission de Régulation de l'Énergie, *L'annuaire des projets de smart grids em France*. Disponível em: < <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=france> >. Acesso em: 20 de novembro de 2015.

CRE (2015f), Commission de Régulation de l'Énergie, *Acteurs et initiatives*. Disponível em: < <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=acteurs-energie> >. Acesso em: 21 de novembro de 2015.

CRISPIM J., BRAZ J., CASTRO R., ESTEVES J., *Smart Grids in the EU with smart regulation: Experiences from UK, Italy and Portugal*, Utilities Policy (31), pp. 85-93, 2014.

EC, European Commission, *Cost-benefit analyses & state of play of smart metering deployment in the EU-27*, Brussels, 2014a.

EC, EUROPEAN COMMISSION, *Smart grid project outlook 2014*, Publications office of the European Union, Luxembourg, 2014b.

EDQUIST C., *The system of Innovation approach and innovation policy: An account of the state of art*, Lead paper presented at the DRUID Conference, Alborg, June 12-15, 2001 under the theme F: 'National Systems of Innovation, Institutions and Public Policies'.

EDQUIST C., JOHNSON B., *Institutions and organisations in systems of innovation*, in C. EDQUIST C., *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*, London and Washington, Pinter/Cassell Academic, 1997.

ERDF, *Alstom et ERDF s'allient pour le développement et la commercialisation de logiciels de gestion des réseaux*, 2013.

ERDF (2015b), Linky, le compteur communicant d'ERDF. Disponível em: < <http://www.erdf.fr/linky-le-compteur-communicant-derdf#onglet-linky-cest-quoi> >. Acesso em: 25 de novembro de 2015.

ERICSSON W., MAITLAND I., *Healthy industries and public policy*, In DUTTIN M. E., *Industry vitalization*. Pergamon Press, New York, 1989.

ETP SMARTGRIDS, *The SmartGrids European Technology Platform*. Disponível em: < <http://www.smartgrids.eu/> >. Acesso em: 21 de novembro de 2015.

EU, European Union, *Directive 2009/72/CE*, anexo 1, paragrafo 2, 2009, disponível em: < <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:211:0055:0093:EN:PDF> >.

FREEMAN C., *Technology and Economic Performance: Lessons from Japan*, Pinter, London, 1987.

GOVERNEMENT FRANÇAIS, *La Nouvelle France Industrielle*, 2013. Disponível em: < <http://proxy-pubminefi.diffusion.finances.gouv.fr/pub/document/18/17721.pdf#page=49> >.

GOVERNEMENT FRANÇAIS, *Industrie du futur, réunir la Nouvelle France Industrielle*, 2015a. Disponível em: < http://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/industrie-du-futur_dp.pdf#page=25 >.

GOVERNEMENT FRANÇAIS (2015b), *Investissements d'avenir*. Disponível em: < <http://www.gouvernement.fr/les-investissements-d-avenir> >. Acesso em: 15 de outubro de 2015.

GOVERNEMENT FRANÇAIS (2015c), *Les instituts pour la transition énergétique*. Disponível em: < <http://competitivite.gouv.fr/les-investissements-d-avenir-une-opportunite-pour-les-poles-de-competitivite/les-instituts-pour-la-transition-energetique-ite-660.html> >. Acesso em: 28 de outubro de 2015.

GOVERNEMENT FRANÇAIS (2015d), *Politique des pôles*. Disponível em: < <http://competitivite.gouv.fr/politique-des-poles-471.html> >. Acesso em: 28 de outubro de 2015.

HEFFNER G., *Smart grid - Smart customers Policy needs*, OCDE-IEA, Paris, 2011.

IEA, International Energy Agency, *Technology Roadmap: Smart Grids*, IEA, Paris, 2011.

INSTITUT DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE, *Qu'est-ce que l'économie circulaire*. Disponível em: < http://www.institut-economie-circulaire.fr/Qu-est-ce-que-l-economie-circulaire_a361.html >. Acesso em: 2 de novembro de 2015.

JACOBSSON S., BERGEK A., *Transforming the energy sector: the evolution of technological system in renewable energy technology*, Corporate and Industrial Change (13), pp. 815-849, 2004.

JACOBSSON S., BERGEK A., *Innovation analyses and sustainability transitions: Contributions and suggestions for research*, Environmental Innovation and Societal Transitions (1), pp. 41-57, 2011.

MEEUS L., SAGUAN M., GLACHANT J.M., BELMANS R., *Smart regulation for smart grids*, EUI Working Papers, 2010.

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE (2015a), *Investissements d'Avenir*. Disponível em: < <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Principaux-programmes-sur-l,40555.html> >. Acesso em: 22 de outubro de 2015.

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE (2015b), *La transition énergétique pour la croissance verte*. Disponível em: < <http://www.developpement-durable.gouv.fr/-La-transition-energetique-pour-la-.html> >. Acesso em: 22 de outubro de 2015.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE, *Les mesures en faveur de l'innovation*. Disponível em: < <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid56619/les-mesures-en-faveur-de-l-innovation.html#cir> >. Acesso em 2 de novembro de 2015.

MOISAN F., *Du fonds démonstrateur aux investissements d'avenir : promouvoir une offre française dans le domaine des technologies vertes*, Annales des Mines - Responsabilité et environnement (61), p. 109-115, 2011.

MUENCH S., THUSS S., GUENTHER E., *What hampers energy system transformation? The case of smart grids*, Energy Policy (73), pp. 80-92, 2014.

OCDE, Organisation pour la coopération et le développement économique, *Examen de l'OCDE des politiques d'innovation*, France, Éditions OCDE, 2014.

RTE, *Bilan électrique 2014*, 2014. Disponível em: < http://www.rte-france.com/sites/default/files/bilan_electrique_2014.pdf >.

SCHUMPETER J. A., *Capitalismo Socialismo e Democracia*, Editora Fundo de Cultura, Rio de Janeiro, 1961.

UTTERBACK J. M., ABERNATHY W. J., *A Dynamic Model of Process and Product Innovation*, Omega (3), pp. 639-656, 1975.

11

O Desenvolvimento e a Implantação de *Smart Grids* na Califórnia: Uma Reflexão Histórico-Analítica

João Felipe Cury Marinho Mathias,
Erika Celene Sanchez Rodriguez

Resumo

O setor elétrico dos EUA tem enfrentado nos últimos anos enormes desafios com as necessidades de energia numa nova realidade de mundo digital, bem como o crescente uso de energias renováveis de natureza intermitente. Esse é o caso particularmente do estado da Califórnia. Como consequência torna-se imperativo o upgrade do sistema elétrico do país de maneira a aumentar sua produtividade e competitividade em termos internacionais. Neste contexto, as tecnologias de *smart grids*, ao permitirem o gerenciamento em tempo real da rede elétrica, possibilitam a integração de novos elementos e consistem em um vetor de melhoria da qualidade do suprimento. As *smart grids* representam um *upgrade* da rede elétrica tradicional essencial para o aumento da geração de energias renováveis, *storage*, maior participação dos consumidores, sensoriamento, e melhoria da comunicação e dos sistemas de informação. O trabalho tem, portanto, o objetivo de apresentar o desenvolvimento e a implantação das tecnologias de *smart grids* na Califórnia a partir de uma reflexão histórico-analítica. A hipótese central do trabalho é que as políticas de estímulo à inovação no setor elétrico dos EUA (e em particular da Califórnia), com o foco nas tecnologias de *smart grids*, sugere um modelo fortemente caracterizado como *government-led* com *supply side policies*. Tal hipótese se apoia alguns elementos críticos. O movimento inicial se deu como resposta à crise de 2001 (“apagão”), no caso da Califórnia, com estímulo à adoção de políticas de *demand response* e *smart metering*. Após tem-se a legislação aprovada em 2007, intitulada *Energy Independence and Security Act of 2007*. Outro elemento importante foi a política fiscal anticíclica e os fundos para financiamento de projetos de modernização da infraestrutura do setor elétrico do país por meio do *Recovery Act*. Finalmente tem-se o arcabouço de política para energia do século XXI, intitulado *Policy framework for the 21st Century Grid* de 2011.

Introdução

O sistema elétrico dos EUA tem experimentado grandes problemas nos últimos anos, incluindo o envelhecimento da infraestrutura do setor, o congestionamento nas linhas de transmissão, a baixa eficiência do mercado, uma baixa confiabilidade e o hiato entre os sistemas secundários e as tecnologias digitais e de informação. Acrescente-se que, embora exista uma rede de interconexão nacional, há problemas relacionados a seu gerenciamento e a sua segurança em função da falta de uma rede que atue como “espinha dorsal” e de uma rede uniforme de despacho (LIN *et al.*, 2013; DOE, 2012; EPRI, 2011).

Observa-se assim que a inadequação do setor elétrico dos EUA para lidar com os atuais desafios do setor elétrico, tais como as necessidades de energia numa nova realidade de mundo digital, bem como o crescente uso de energias renováveis de natureza intermitente. Como consequência torna-se imperativo o *upgrade* do sistema elétrico do país de maneira a aumentar sua produtividade e competitividade em termos internacionais. Neste contexto, as tecnologias de *smart grids*, ao permitirem o gerenciamento em tempo real da rede elétrica, possibilitam a integração de novos elementos e consistem em um vetor de melhoria da qualidade do suprimento. Em linhas gerais, as *smart grids* representam um *upgrades* da rede elétrica tradicional essencial para o aumento da geração de energias renováveis, *storage*, maior participação dos consumidores, sensoria-mento, e melhoria da comunicação e dos sistemas de informação.

Como demonstração inequívoca da importância desta temática o governo dos EUA reconhece a modernização da rede elétrica através da incorporação das tecnologias digitais como vital para a otimizar as operações da rede e, por consequência, para a incorporação de energias alternativas e o oferecimento uma gama de opções aos consumidores de energia elétrica. É nesse contexto que as políticas de adoção de *smart grids* se inserem nos EUA, qual seja, para aumentar a confiabilidade, a segurança e a eficiência do sistema elétrico do país ao utilizar um sistema com tecnologias avançadas de informação, controle e comunicação.

Considerando que a transição para um sistema elétrico mais limpo e que seja compatível com os desafios de mudança climática passa pelo desenvolvimento de inovações na infraestrutura do setor elétrico que se torna crescentemente descentralizada, as políticas nacionais, regionais e locais ao reconhecerem esses desafios devem dirigir as suas implicações para a área financeira, particularmente pelas grandes necessidades de investimento que venham a trazer os benefícios econômicos locais (BRAUN E HAZELROTH, 2015).

De acordo com o EISA (2007), a adoção de tecnologias de *smart grids* assegurará a obtenção de altos níveis de segurança, qualidade, confiabilidade e

disponibilidade de energia elétrica, aumentando a produtividade da economia e minimizando os impactos ambientais. (EPRI, 2011). Como reação à crise econômica de 2008 o governo dos EUA aprovou o *Recovery Act*, em 2009, como um pacote anticíclico com elevados montantes de fundos para financiar projetos de investimento em infraestrutura. A infraestrutura do setor elétrico mereceu especial destaque, com particular montante destinado a projetos de *smart grids*. Com efeito, o marco legal e o *funding* para o desenvolvimento e adoção de tecnologias de *smart grids* foram dados com a aprovação das duas supracitadas leis e, em 2011, foi apresentado o arcabouço intitulado *Policy framework for the 21st Century Grid* que oferece as bases estratégicas para a modernização do setor elétrico dos EUA.

No caso dos EUA, o estado do Califórnia vem desenvolvendo uma série de ações que inclusive antecedem o *Energy Independence and Security Act of 2007* (EISA, 2007), marco fundamental para a modernização do setor elétrico do país. Ressalta-se que as ações da Califórnia são uma resposta à crise do setor elétrico ocorrida nos anos de 2000/2001, cujo trauma trouxe consigo ações enérgicas para a tentativa de se evitar a repetição da mesma no estado.

Em linhas gerais, a hipótese central deste capítulo é que as políticas de estímulo à inovação no setor elétrico dos EUA, em particular as tecnologias de *smart grids*, sugere um modelo fortemente caracterizado como *government-led* com *supply side policies*¹. Tal hipótese é baseada nos seguintes elementos críticos:

1. A resposta à crise de 2001 (“apagão”), no caso da Califórnia, foi estímulo à adoção de políticas de *demand response* e *smart metering*;
2. A legislação aprovada em 2007: *Energy Independence and Security Act of 2007* (EISA, 2007);
3. A política fiscal anticíclica e os fundos para financiamento de projetos de modernização da infraestrutura do setor elétrico do país: o *American Recovery and Reinvestment Act* (ARRA, doravante *Recovery Act*).
4. O arcabouço de política para energia do século XXI, intitulado *Policy framework for the 21st Century Grid* de 2011, cujo mote é “A 21st century clean energy economy demands a 21st century grid”.

Naturalmente que esses marcos gerais, somados às questões específicas de cada federação, possibilitam identificar o cenário geral da evolução do setor

1 *Supply side policies* buscam o aperfeiçoamento do processo produtivo por meio do aumento da produtividade e afetam a inovação e o desenvolvimento de tecnologias ao induzirem atividades de P&D e projetos-pilotos e de demonstração. São traduzidas, via de regra, como políticas que afetam a infraestrutura de ciência e tecnologia (C&T) e é fortemente associada a empréstimos em condições favoráveis e incentivos fiscais.

elétrico dos EUA, em particular da Califórnia, com especial ênfase na adoção de novas tecnologias que propiciam um funcionamento mais inteligente e confiável do setor elétrico do país. É nesse sentido que se torna *mister* a recuperação histórica de todos os eventos fundamentais que possibilitaram, e ainda potencializam e potencializarão a modernização do setor elétrico do EUA em direção a uma rede “inteligente”, por meio da adoção das múltiplas tecnologias associadas às *smart grids*, sendo subdivididas em quatro grandes grupos, a saber, os sistemas de transmissão, os sistemas de distribuição, a infraestrutura de medição avançada e os sistemas de apoio ao cliente². Tais tecnologias podem ser visualizadas na Figura 1 abaixo:

Figura 1 - Exemplos de Tecnologias de *Smart Grids*

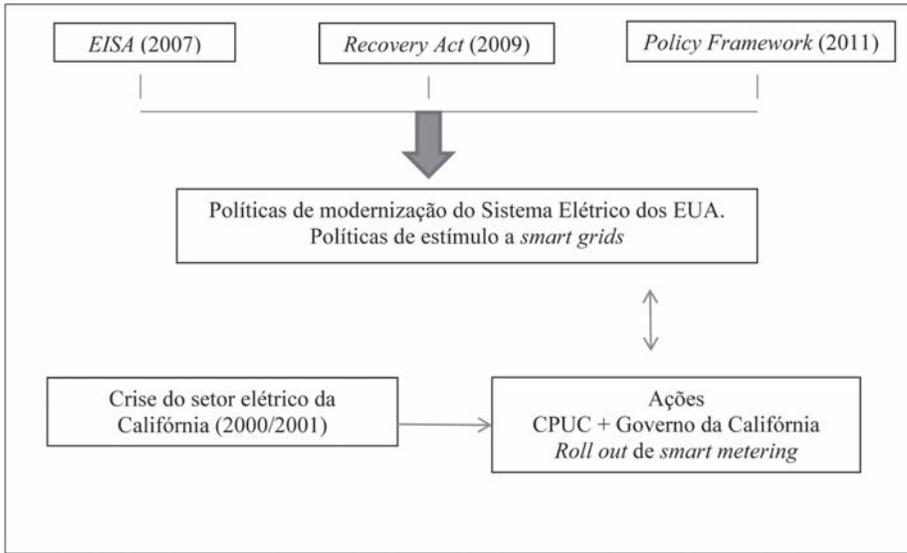
| Electric Transmission Systems | Electric Distribution Systems | Advanced Metering Infrastructure | Customer Systems |
|--|--|---|---|
|  |  |  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> • Synchrophaser technologies • Communications infrastructure • Wide area monitoring and visualization • Line monitors | <ul style="list-style-type: none"> • Automated switches • Equipment monitoring • Automated capacitors • Communications infrastructure • Distribution management systems | <ul style="list-style-type: none"> • Smart meters • Communications infrastructure • Data management systems • Back-office integration | <ul style="list-style-type: none"> • In-home displays • Programmable communicating thermostats • Home area networks • Web portals • Direct load controls • Smart appliances |

Fonte: DOE (2012).

Por sua vez, a Figura 2 apresenta uma síntese esquemática dos elementos condicionantes e políticas para a modernização do sistema elétrico dos EUA e da Califórnia e que sustentarão a hipótese levantada neste trabalho.

² Segundo o relatório da IEA (2014), no cenário de novas políticas de investimento para o setor de energia elétrica nos EUA entre 2014 e 2035 serão necessários 260 mil quilômetros de novas linhas de transmissão, bem como uma forte renovação das linhas de transmissão e distribuição existentes.

Figura 2 - Uma Síntese Esquemática dos Elementos Condicionantes e Políticas para a Modernização do Sistema Elétrico dos EUA e da Califórnia. Um Modelo *Government-Led*.



Fonte: Elaboração Própria (2016).

O trabalho tem, portanto, o objetivo de apresentar o desenvolvimento e a implantação das tecnologias de *smart grids* na Califórnia a partir de uma reflexão histórico-analítica. Para tanto, está estruturado em mais duas seções. A seção 11.1 tem por objetivo apresentar as mudanças que propiciaram a evolução da estrutura de mercado do setor elétrico dos EUA e que estão por trás da crise da Califórnia em 2000/2001. A seguir tem-se a seção-chave do trabalho, com o desenvolvimento e adoção de políticas de estímulo à adoção de *smart grids* na Califórnia. Por fim, são apresentadas as considerações finais.

11.1. Uma nota sobre a evolução da estrutura do setor elétrico dos EUA e da Califórnia

Os EUA vêm passando, desde o final dos anos 1970, por profundas transformações e reformas estruturais no setor elétrico, o que mudou de forma significativa a forma de como o governo afeta e interage na economia como um todo, e no setor elétrico em particular (MACK, 2015). Ressalta-se que o sistema federativo dos EUA garante um grande poder e autonomia às autoridades locais, que, por sua vez, tem poder de regulação sobre as empresas de utilidade pública (*utilities*) que prestam serviços públicos essenciais à população, o que inclui a eletricidade.

O setor elétrico dos EUA engloba mais de 3000 empresas ligadas à prestação de serviços de eletricidade de caráter público, privado ou mesmo cooperativas, com mais de 1000 empresas geradoras independentes, três redes regionais sincronizadas, e diversos outros *stakeholders* de múltiplas áreas como economia, engenharia e meio ambiente (RAP, 2011).

Dentre os principais *stakeholders* ligados ao setor elétrico dos EUA destacam-se as *utilities*, caracterizadas como:

- ***Investor-Owned Utilities (IOUs)***: prestam serviço a cerca de 75% da população dos EUA. São companhias privadas, porém sujeitas à regulação do Estado e financiadas por meio de emissões de títulos de dívida e bônus privados. A maioria das *IOUs* é grande (em termos financeiros) e trabalham com operações que envolvem mais de um serviço (eletricidade e gás natural) e podem atuar em múltiplos estados;
- ***Electric Publically-Owned Utilities (POUs)***: são empresas municipais, distritais ou cooperativas que prestam serviço a cerca de 25% da população dos EUA, tanto em cidades, como em grandes extensões rurais. As cooperativas são mais presentes nas áreas rurais. As empresas distritais contam com a administração de uma comissão eleita pelo voto local. As empresas municipais são administradas pelo conselho local eleito.

Em termos de jurisdição, a transmissão de eletricidade entre estados, bem como as vendas no mercado atacadista de energia elétrica são reguladas pela agência federal. Já as tarifas no varejo e no serviço de distribuição são reguladas em nível estadual (RAP, 2011).

A agência reguladora de energia elétrica dos EUA é a *Federal Energy Regulatory Commission (FERC)*, embora alguns aspectos relativos ao setor estejam sob a responsabilidade da *Environmental Protection Agency (EPA)* e das agências federais que regulam o uso da terra. Em contrapartida, a regulação dos estados busca construir os padrões para a infraestrutura de distribuição de baixa tensão a partir de padrões de qualidade dos serviços, bem como os preços e os termos do serviço prestado pelas *IOUs*.

O setor de eletricidade da Califórnia sofreu profundas transformações ao longo da história, vide que no início do século XX o setor de eletricidade era caracterizado pela presença de um monopólio. É na segunda onda de reformas estruturais no setor elétrico, nos anos 1970, que a Califórnia lançou as bases para boa parte de sua estrutura desde então. A criação de instituições governamentais para o apoio e o planejamento e política energética surge nesse contexto, e a *California Energy Commission (CEC)* é criada em 1974 (MACK, 2015). Tais reformas ampliaram a confiabilidade e a acessibilidade dos serviços

elétricos, no entanto os preços das tarifas dos serviços permaneceram entre os mais altos, quando comparados a outros Estados (JOSKOW, 2000).

Nos anos 1990, os EUA propuseram uma reforma liberalizante no setor elétrico dos EUA, com o objetivo de aumentar a competição e, assim, reduzir as ineficiências do setor. A estrutura de mercado anterior, com integração vertical, foi substituída por uma estrutura competitiva com múltiplos atores. Tais mudanças acabaram por levar o setor a perdas econômicas o que desencadeou a crise do setor de eletricidade na Califórnia em 2001³. Desde então, várias políticas reativas foram tomadas de forma a neutralizarem os problemas que emergiram com a mudança para um setor descentralizado. De acordo com Mack (2015), o setor elétrico da Califórnia apresenta uma característica “semi-competitiva” nos mercados atacadistas de eletricidade e uma estrutura de mercado não competitiva no varejo. O autor chama o atual desenho da estrutura do setor elétrico da Califórnia de “estrutura híbrida de mercado”.

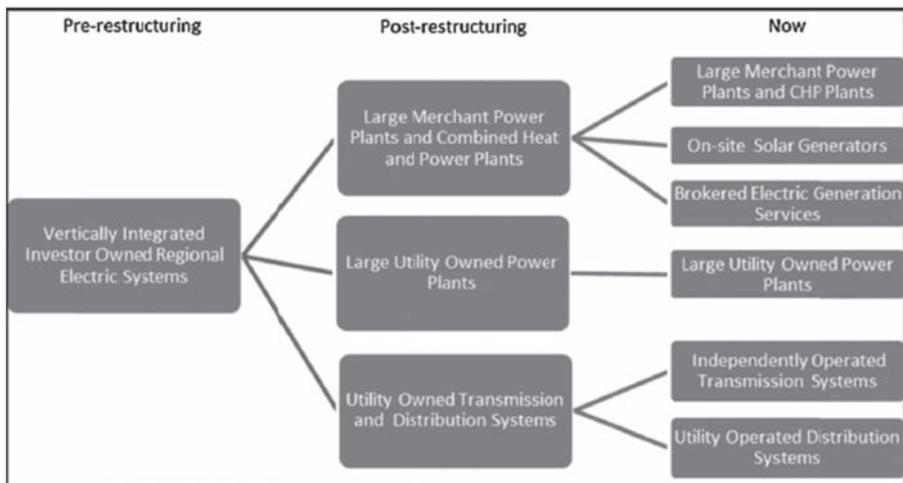
Em termos de empresas (*IOUs*), a Califórnia apresenta suas três principais, fundadas na virada do século XIX para o século XX: Pacific Gas and Electric (PG&E), Southern California Edison (SCE) e San Diego Gas and Electric (SDG&E), as quais detêm cerca de 75% do mercado varejista de eletricidade no Estado. As tarifas e investimentos das *IOUs* estão sob a alçada regulatória da CPUC (*California Public Utilities Commission*). Os outros 25% são oferecidos basicamente pelas “electric publically-owned utilities” (*POUs*), que são agências locais públicas e que decidem, por meio de seus representantes eleitos localmente quais as tarifas e os investimentos em infraestrutura são necessários.

Por um longo tempo na história as *IOUs* e as *POUs* foram integradas verticalmente, operando e gerenciando a geração, transmissão e distribuição da eletricidade com direitos de exclusividade em determinados territórios geográficos. Essa estrutura mudou para um arranjo de mercado híbrido Mack (2015).

3 O trabalho de Uller (2005) destrincha as causas e os diagnósticos da crise do setor elétrico na Califórnia. De acordo com o citado autor, no novo sistema elétrico da Califórnia, especialistas, políticos, *utilities* e consumidores se depararam com o pior dos mundos: total descontrole de preços, jogos de retenção de capacidade e distribuidoras centenárias em estágio de insolvência. A seguinte passagem sintetiza boa parte das conclusões do autor: “A despeito da crença liberal que arrebatou os governos durante a década de 1990, inclusive o californiano, a opção por sistemas elétricos competitivos por si só não é capaz de promover quedas de preços, sem que haja uma atuação competente dos órgãos reguladores. Fatos como a ascendente tendência de preços no já extinto pool de energia (CALPX) e o baixo índice de investimentos em infraestrutura (i.e. gasodutos, linhas de transmissão e capacidade geradora) que se seguiram aos primeiros anos (1998-2000) da reforma californiana não foram suficientes para sua reavaliação, antes que o pior ocorresse. Tais eventos, mesmo que não muito evidentes isoladamente, já justificariam uma atitude preventiva do órgão regulador federal (FERC), e/ou das autoridades do estado da Califórnia, por intermédio da CPUC, sua tradicional comissão reguladora” (ULLER, 2005: p. 44).

A evolução do sistema elétrico da Califórnia é apresentada na Figura3, que destaca como era no período prévio a pós reestruturação do setor (a mudança dos anos 1990) e como o setor ficou no período após a crise de 2000/2001.

Figura 3 - Elementos do Sistema Elétrico da Califórnia Frente à Reestruturação dos Anos 1990



Fonte: Braun e Hazelroth (2015).

Há esforços em curso em direção à melhoria do funcionamento no mercado atacadista e varejista nos EUA e na Califórnia, em particular. Vale ressaltar, porém, que é notório que as políticas públicas tratam a questão da modernização da rede através de investimentos em *smart grids* como prioritária e nesse sentido o governo central e os governos locais atuam com “molas propulsoras” do processo de modernização. É amplamente reconhecido que há um subinvestimento nos sistemas de monitoramento, comunicação e controle na rede de transmissão de alta tensão em todo o país⁴. Logo, é perceptível a dificuldade desta rede em lidar com a incorporação de grandes montantes de energia intermitente derivados do cumprimento de metas de aumento de participação das fontes eólica e solar (JOSKOW, 2012).

A necessidade de modernização da rede torna-se mais evidente em função das medidas legislativas que vem sendo adotadas nos últimos anos, as quais estimulam o aumento da eficiência energética e a incorporação de energia de fontes renováveis. Embora estes objetivos e suas respectivas medidas sejam

4 A EPRI estima que o custo total dos investimentos em direção a um sistema de transmissão de alta tensão mais “inteligente” custará em torno de US\$ 56-64 bilhões, cerca de 20% do programa de *smart grid* definido pela EPRI, sendo capaz de receber a eletricidade oriunda de fontes intermitentes (JOSKOW, 2012).

nacionais, observa-se que as mesmas possuem especial importância no estado da Califórnia⁵.

Há diversos programas de eficiência energética e, em particular, de eficiência do setor elétrico nos EUA. O relatório intitulado *State Electric Efficiency Regulatory Frameworks* (IEI, 2014) sintetiza as políticas para o desenvolvimento de programas de eficiência do setor elétrico dos EUA. De acordo com o relatório, as empresas prestadoras de serviços de eletricidade (*utilities*) são apresentadas a um arcabouço regulatório com três tipos de programas de incentivo à eficiência:

- *Program direct cost recovery*: refere-se aos mecanismos aprovados pelo regulador para a recuperação dos custos referentes à administração do programa de eficiência energética, custos de implementação (como marketing) eventuais descasamentos de custos. Tais custos são cobertos por tarifas, cobranças de sistemas de benefícios (*system benefits charges*) ou sobretaxas tarifárias;
- *Fixed cost recovery*: refere-se aos mecanismos de “decoupling” e “lost revenue adjustment” que auxiliam as empresas a recuperarem a receita marginal associada aos custos operacionais fixos. Tais mecanismos permitem a recuperação em tempo oportuno de custos fixos por parte das empresas;
- *Performance incentives*: são mecanismos que recompensam as empresas por atingirem metas de programas de eficiência elétrica e impõem punições para performances abaixo das metas acordadas. Tais incentivos permitem às empresas a auferirem os ganhos de seus investimentos em eficiência energética.

O relatório reconhece que os arcabouços regulatórios de apoio são elementos-chave para a expansão do setor elétrico com o compromisso adicional de programas de eficiência energética. Nesse sentido, os mecanismos de incentivo utilizados para os programas de incentivo ao aumento da eficiência energética são o “Lost Revenue Recovery” e o “Revenue Decoupling” (IEI, 2014).

O Estado da Califórnia tem alguma forma de “decoupling” desde 1982. O programa corrente, “Decoupling Plus” foi aprovado em 2007 e é combinado com os incentivos de *performance* para o atingimento ou superação das metas de eficiência energética⁶. As empresas prestadoras de serviço de eletricidade da

5 Em nível federal o *Energy Policy Act* de 2005 e o *EISA* de 2007 lançam as bases dos objetivos e metas nacionais. No estado da Califórnia as ações de melhoria de eficiência energética foram deflagradas como uma resposta à crise de 2000/2001. Já em 2002, a Califórnia aprovou uma legislação relativa à adoção de tecnologias que propiciassem o aumento de *demand response* no Estado.

6 O programa em curso “Decoupling Plus” no estado da Califórnia é um programa que combina incentivos de *performance* para atingir ou superar as metas de eficiência energética. Os incentivos buscam a geração de ganhos para as IOUs quando as empresas investem em métodos de eficiência energética. A ideia é oferecer um meio para as

Califórnia são elegíveis para a obtenção dos “Energy Savings and Performance Incentives” (ESPI), frutos de uma combinação *ex ante locked down* e das poupanças verificadas *ex post*. As poupanças são medidas no “ciclo de vida líquido” das poupanças (“net lifecycle savings”) (IEI, 2014).

11.2. O Desenvolvimento e a Implementação de *Smart Grids* na Califórnia

O governo dos EUA adota políticas do lado da oferta (“supply-side policy”) para estimular o desenvolvimento de tecnologias em *smart grids* (Lin *et al.*, 2013)⁷. Como será explorado adiante, tais políticas são centradas nas metas estabelecidas pelo *Energy Independence and Security Act* (EISA) e pelos recursos (*funding*) oriundos do *Recovery Act* de 2009. Existem, no entanto, leis aprovadas em período anterior que merecem destaque, como a *Energy Policy Act* de 2005, que representou a primeira iniciativa de política para estimular as empresas do setor de eletricidade a incorporarem energias renováveis e componentes do sistema de precificação associados a *smart grids*, particularmente no que tange ao *demand response*⁸. A mesma lei também incentivava a instalação de equipamentos por parte do consumidor e a incorporação de energia renovável através da implementação de créditos fiscais ao promover o aumento da produção doméstica de energia por meio de projetos de energia renovável e medidas de conservação de energia e eficiência energética.

A esses marcos legislativos se seguiu a adaptação e a adequação do estado da Califórnia às metas nacionais. No entanto, convém reiterar que, em função da crise de 2000/2001, o estado se antecipou em várias ações políticas de modernização do sistema elétrico, sobretudo na adoção de tecnologias que possibilitem medidas de *demand response* e sistemas de precificação dinâmica.

utilities encarem a eficiência energética como parte central de suas operações e que possa trazer receitas significativas. O programa “Decoupling Plus” provê um retorno esperado para os clientes de mais de 100% de seus investimentos em eficiência energética para os contribuintes no estado.

7 Segundo o estudo de Lin *et al.* (2013) 70% das políticas de inovação dos EUA associadas ao setor elétrico são concentradas em apenas quatro instrumentos de políticas: i. Desenvolvimento de Ciência e Tecnologia (20%): programas estratégicos como *Grid 2030, Roadmap for Smart Grids Interoperability Standards, The Modern Grid Strategy*, entre outros; ii. Financeiras (20%): subsídios e *funding* do DOE/ SGIG Program; iii) Instrumentos “Políticos” (19%): Leis (*Energy Policy Act*; *Federal Power Act*; *Recovery Act*; EISA; entre outros); iv) Empresa Pública (11%): centradas em 32 projetos de demonstração de empresas prestadoras de serviços públicos de eletricidade.

8 O *Energy Policy Act* (2005) foi uma significativa vitória para certos aspectos da concepção de um *smart grid*, incluindo a precificação dinâmica, os medidores inteligentes, e iniciativas de integração de energias renováveis. Na seção 1252 do *Energy Policy Act*, a participação do consumidor é encorajada através da implementação de medidores inteligentes e de sistemas de precificação dinâmica (MONYPENY, 2013).

A legislação de eficiência energética na Califórnia é muito relevante para o entendimento da adoção agressiva de tecnologias para a modernização do sistema elétrico no estado. No planejamento estratégico do estado são evidenciadas metas agressivas, como o “California Scope Plan”, de 2009. O plano estabelece que as casas tenham que atingir a energia líquida zero (*zero net energy*) até 2020, os prédios do estado da Califórnia até 2025 e os prédios comerciais até 2030. Isso significa que essas construções devem possuir um painel solar ou outra fonte de geração de energia renovável que assegure o atingimento da meta de energia líquida zero ao longo do ano (HC, 2013).

No entanto, o mesmo relatório da *House of Commons* (HC, 2013) chama a atenção para os altos custos envolvidos no processo, a despeito do elevado apoio do poder público. Tais custos tendem a afetar os contratos oriundos de fontes renováveis tendo impactos nas tarifas. Em consonância com boa parte da literatura, o relatório identifica que os benefícios adviriam do *roll out* de medidores inteligentes (cujo custo também é elevado) por meio de melhorias na *demand response*, tanto para as distribuidoras como para os consumidores.

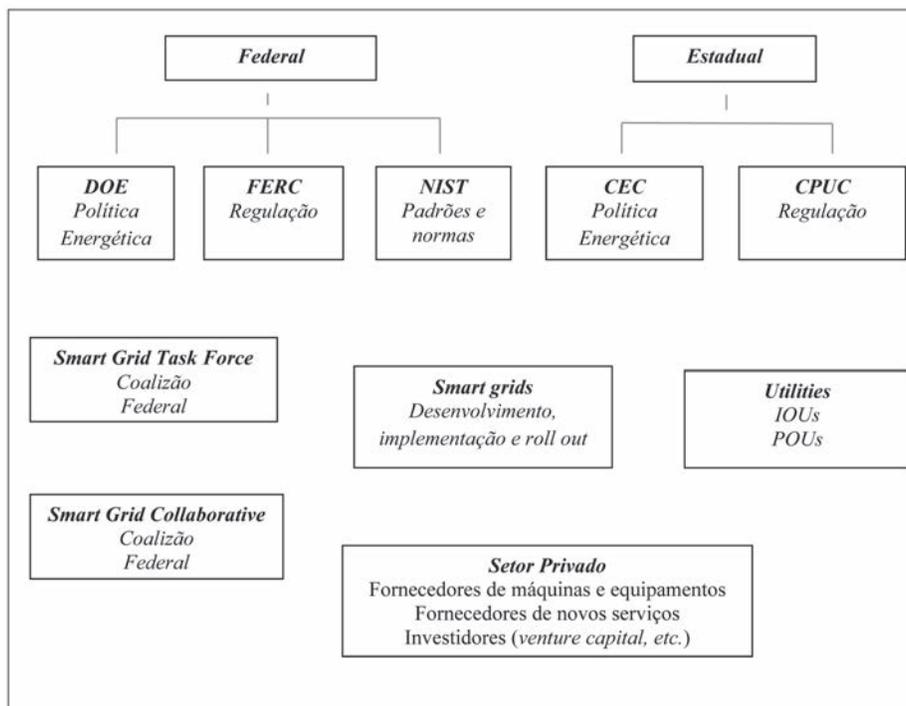
Para evidenciar o processo de desenvolvimento e implantação de tecnologias *smart grids* na Califórnia, serão explicitados os principais atores (*stakeholders*) envolvidos no processo e, posteriormente, será proposta uma análise das etapas de desenvolvimento tecnológico como resposta às crises do setor elétrico e à crise econômica dos EUA, culminando arcabouço apresentado pela Casa Branca intitulado “Policy Framework for the 21st Century Grid”, o que reforça a ideia de um processo *government-led* na adoção de tecnologias para a modernização do setor elétrico do país.

11.2.1. Os Stakeholders

Os esforços no desenvolvimento de tecnologias de *smart grids* nos EUA envolvem uma ampla gama de agências governamentais, tanto em nível federal como estadual. Do ponto de vista federal ocupam espaço de destaque o Departamento de Energia dos EUA (*Department of Energy – DOE*), o *National Institute of Standards and Technology* (NIST) e o *Federal Energy Regulatory Commission* (FERC). Cabe ao DOE a concessão de auxílios e subvenções para desenvolvimento de projetos de *smart grids*. Cabe ao NIST coordenar o arcabouço referente à *interoperabilidade* para permitir que as tecnologias de *smart grids* consigam operar e se comunicar entre si. Ao FERC cabe a regulamentação e promulgação dos padrões de interoperabilidade (IEA, 2014).

A Figura 4 apresenta os principais atores envolvidos no desenvolvimento e implantação de tecnologias de *smart grids* nos EUA.

Figura 4 - Stakeholders para o Desenvolvimento e Implementação de Tecnologias de *Smart Grids* nos EUA e na Califórnia



Fonte: Elaboração Própria (2016).

Em nível estadual há a CPUC, responsável pela regulação e a CEC pelo planejamento energético no estado. As IOUs e PUCs são os investidores em tecnologias de *smart grids* nos estados. Somam-se aos atores já mencionados um importante conjunto de coalizões⁹ atuantes no desenvolvimento de *smart grids* nos EUA. Entre eles destacam-se:

- **Smart Grid Collaborative:** trata-se de uma coalizão concebida no ano de 2008 a partir de esforços da FERC com a *National Association of Regulatory Utility Commissioners* (NARUC);
- **Smart Grid Task Force:** foi estabelecida a partir do EISA (baseada no *Title XIII of the Energy Independence and Security Act of 2007*) e inclui “experts” de onze agências federais. A missão da “Força Tarefa” é assegurar a

⁹ A presença de coalizões é importante na fase formativa de um *Sistema Tecnológico* (JACOBSON; BERGEC, 2004). É claro que as coalizões descritas têm viés técnico e não político, mas certamente cooperam para o debate político em torno da adoção das tecnologias *smart grids*.

coerência, a coordenação e a integração das diversas ações e atividades do governo federal em relação às tecnologias de *smart grids* e seus serviços e práticas associados.

O relatório da CPUC (2010) destaca a liderança do estado da Califórnia e o interesse dos diversos *stakeholders* no que tange à adoção e implementação de tecnologias de *smart grids*. De acordo com o texto, a Califórnia é um dos estados líderes na adoção de políticas de *smart grids*. Tal liderança é fruto não apenas das legislações estadual e federal, mas muito mais em função do entendimento do significado da importância de construir uma rede inteligente (nesse sentido, a experiência da crise de 2000/2001, como será descrita adiante, parece crucial).

Essa compreensão em favor de modernizar a rede e torná-la mais inteligente mobiliza vários atores importantes na Califórnia, como empresas de tecnologia, investidores financeiros (*venture capital*) e outros grupos de negócios e de interesses dos consumidores. À medida que as inovações de tecnologias e serviços avançam com novos produtos e serviços no mercado, os consumidores terão maior controle sobre seu uso de eletricidade e, conseqüentemente, de suas contas. Isso potencializará o uso mais eficiente dos recursos reduzindo as perdas nos sistemas de transmissão e distribuição e permitindo a incorporação de novos tipos de geração.

Para chegar a tal nível de maturidade e engajamento dos *stakeholders*, vale a pena revisitar a evolução recente da história do setor elétrico da Califórnia, notadamente marcada pela crise dos anos 2000 e 2001, que funcionou como mola propulsora da modernização do setor elétrico do Estado e seu pioneirismo em relação ao restante do país.

11.2.2. A Fase 1: a resposta à crise de 2001

A crise do setor elétrico da Califórnia nos anos de 2000 e 2001 possui um reconhecido diagnóstico de que teria ocorrido em função das modificações estruturais decorrentes da liberalização do setor com a aprovação da Lei AB 1890, em 1996, legislação que foi um grande esforço da desregulação do setor elétrico nos EUA¹⁰. Desde então o estado da Califórnia adotou uma série de medidas que o coloca como vanguardista no que diz respeito às políticas em prol da eficiência energética e do gerenciamento da demanda.

Dentre os elementos que explicam a crise do setor elétrico da Califórnia, a falta de *demand response* aparece como crucial (IEA, 2014). Em 2002 CPUC começou a elaborar uma série de normas concluídas em 2005 que propicias-

10 A crise é bem documentada e possui uma vasta literatura. Para entender com detalhamento as causas da crise da Califórnia veja Weare (2003).

sem o desenvolvimento de *demand response* como um meio de assegurar um sistema elétrico confiável, com reduzidos custos aos consumidores individuais e que protegessem o meio ambiente. Em 2003 a CPUC ordenou que todos os consumidores de energia elétrica deveriam ter medidores avançados (inteligentes). A CPUC requereu propostas das *utilities* e autorizou fundos para investimentos em infraestrutura de medição avançada (AMI).

A partir da crise de energia elétrica da Califórnia de 2000-2001, o Fundo Geral do Estado (*General Fund*)¹¹ forneceu US\$ 35 milhões à *California Energy Commission* (CEC) para a instalação de medidores elétricos em tempo real, a serem utilizados nas contas dos clientes finais com picos de demanda de energia elétrica de 200kW ou maiores (Tabela 1). O programa de medição em tempo real da CEC foi implementando, entre maio de 2001 e junho de 2002, por meio de contratos com as três maiores *Investor-Owned Utilities* (IOUs) e as grandes empresas de serviços públicos¹²:

Tabela 1 - Recursos (*Funding*) do Programa de Medição em Tempo Real Recebidos pelas Concessionárias.

| <i>Concessionária</i> | <i>Montante do Contrato (USD)</i> | <i>Medidores a serem instalados</i> | <i>Redução do pico de demanda (MW)</i> |
|---|-----------------------------------|-------------------------------------|--|
| Southern California Edison | \$16,800,000 | 12,000 | 292 |
| Pacific Gas & Electric | \$10,277,800 | 5,900 | 146 |
| San Diego Gas & Electric | \$2,403,960 | 1,380 | 33 |
| Los Angeles Dept. of Water & Power | \$4,802,290 | 3,418 | 107 |
| Sacramento Municipal Utility District | \$420,000 | 300 | 15 |
| Southern California Public Power Authority • Anaheim, Azusa, Banning, Burbank, Glendale, Pasadena, Riverside | \$384,950 | 274 | 7 |
| Northern California Power Agency • Gridley, Port of Oakland, Roseville | \$100,000 | 70 | 1 |
| Total | \$35,189,000.00 | 23,342 | 601 |

Fonte: Adaptado de CEC (2002).

11 Através da *Assembly Bill 29X (AB 29X)* de março de 2001, http://www.leginfo.ca.gov/pub/01-02/bill/asm/ab_0001-0050/abx1_29_bill_20010412_chaptered.html

12 O programa tentou instalar cerca de 23.300 medidores elétricos e equipamentos eletrônicos de comunicação associados, permitindo aos clientes ver o seu perfil de carga horária e uso de energia. Também, foi projetado para motivar uma redução de pelo menos 500MW da demanda pico durante o seu primeiro ano de operação (CEC, 2002).

A implantação desse tipo de medidores foi uma das soluções tecnológicas utilizadas para atenuar os efeitos da crise, dado que possuíam componentes eletrônicos que permitiam às concessionárias ler remotamente o consumo de energia dos usuários e, em seguida, comunicar esses dados coletados ao sistema de faturamento (CEC, 2002)

Já em junho de 2002, a *California Public Utilities Commission* (CPUC) deu início ao processo de elaboração da regulamentação 02-06-001 sobre a política de medição avançada, *demand response* e precificação dinâmica que culminou com a Decisão 05-11-009 em novembro de 2005¹³. A regulamentação da CPUC foi concebida para prosseguir com a política de *demand response*, através do desenvolvimento de um pacote integrado de infraestrutura de medição inteligente para todos os usuários e o estabelecimento de tarifas diferenciadas por horário para os grandes clientes (CEC, 2007). O foco principal desses esforços foi a realização de políticas que se concentravam em *demand response* com base no preço, como tarifas dinâmicas, ao invés de continuar investindo em programas de resposta à demanda já existentes baseados em incentivos, tais como o serviço de interruptibilidade (*Interruptible Service*).

Assim sendo, se utilizou uma abordagem estratégica para o desenvolvimento da capacidade de resposta à demanda no mercado de energia da Califórnia baseado em um modelo de esforço de interações. Nesse modelo foram criados três grupos de trabalho a fim de pesquisar diversos programas, desenvolver orçamentos e identificar metas no âmbito estatal¹⁴.

O primeiro ano desse modelo de interações, a CPUC publicou duas decisões relevantes. A primeira decisão (D.03-03-036 de março de 2003) adotou o *California Statewide Pricing Pilot* (SPP), como resultado das discussões do GT 3 em torno à necessidade de um programa piloto para testar o potencial de resposta à demanda em pequenos consumidores residenciais e comerciais, dado

13 A Decisão 05-011-009 ordenou instituir a regulamentação sobre as políticas e práticas de medição avançada, resposta à demanda e precificação dinâmica, encerrando a *Rulemaking (R.) 02-06-001* de 2002, http://docs.cpuc.ca.gov/PUBLISHED/FINAL_DECISION/51376.htm

14 **Grupo de Trabalho 1 (GT 1)**, integrado pelos *policy makers* da CPUC, a *California Energy Commission* (CEC) e a *California Power Authority* (CPA). O grupo era responsável de estruturar a regulamentação para *demand response* e, orientar aos participantes em pontos chave do processo; **Grupo de Trabalho 2 (GT 2)**, focado no desenvolvimento de programas de resposta à demanda e políticas relacionadas para grandes consumidores (com um pico de demanda mensal > 200kW). Os participantes deste grupo foram *stakeholders* como, as *Investor-Owned Utilities* (IOUs), a *Division of Ratepayer Advocates* (DRA), a *California Independent System Operator* (California ISO) e a associação comerciais dos grandes clientes, entre outros (CEC, 2007); **Grupo de Trabalho 3 (GT 3)** composto pelas três IOUs e outros atores interessados no desenvolvimento de políticas de resposta à demanda para os clientes residenciais, comerciais e industriais de pequeno porte (com uma demanda faturada < 200kW).

que esses clientes não estavam equipados com tecnologia de medição avançada (CEC, 2007).

O programa piloto, executado entre 2003-2004, teve um custo de US\$ 22 milhões e envolveu 2.500 consumidores residenciais e comerciais. O objetivo principal do SPP foi reduzir os períodos de consumo dos usuários para obter melhoras nos fatores de carga das usinas de energia da distribuidora, através de mecanismos de precificação dinâmica. Os preços eram elevados em horários pico e reduzidos em períodos de baixo consumo (VAASAETT GETT, 2010).

Os testes do SPP incluíram dos tipos de tarifas¹⁵:

- * *Time of Use* (TOU): tarifa aplicada apenas se o preço pico for duas vezes o valor do preço fora de pico.
- * *Critical Peak Rates* (CPP): tarifa utilizada se o preço pico durante os dias críticos for aproximadamente cinco vezes maior do que o preço fora de pico; em dias não críticos se aplica uma tarifa TOU. Desta categoria foram testadas duas variações:
 - *Fixed Critical Peak Price Rates* (CPP-F): a tarifa tinha um período fixo de pico crítico com notificação no dia seguinte. Esses clientes não tinham uma tecnologia habilitada.
 - *Variable Critical Peak Price Rates* (CPP-V): a tarifa tinha um período variável de duração de pico durante os dias críticos e notificação no mesmo dia. Os clientes tinham a opção de adotar uma tecnologia facilitadora, como termostatos automatizados para as unidades AC.

A segunda decisão (D.03-06-032 de junho de 2003) aprovou os planos dos programas de resposta à demanda desenvolvidos pelo GT 2 para os clientes com carga superior a 200 kW. A política foi projetada para aproveitar os medidores inteligentes já instalados nos locais dos clientes comerciais e industriais de grande porte através da aplicação de tarifas dinâmicas¹⁶. No desenvolvimento dessa nova política, a participação das *Investor-Owned Utilities* (IOUs) e as grandes empresas de serviços públicos foi apenas na conclusão da instalação da medição avançada para esses clientes grandes com o financiamento da *Assembly Bill 29X* de 2001 através da Comissão de Energia de Califórnia (VAASAETT GETT, 2013).

Apesar de realizar duas tentativas para desenvolver uma taxa CPP padrão para todos os clientes, a CPUC decidiu que a tarifa de resposta à demanda seria inicialmente voluntária. Essa Comissão também aprovou quatro programas de *demand response* para os grandes clientes: as taxas CPP, a modalidade *Hourly*

15 CPUC, Decisão 03-03-036 de março de 2003, http://docs.cpuc.ca.gov/PublishedDocs/WORD_PDF/FINAL_DECISION/24435.PDF

16 A CPUC ordenou a aplicação de tarifas *time-of-use* (TOU) para esses grandes clientes.

Pricing Option (HPO) para os clientes da *San Diego Gas and Electric Company (SDG&E)*, uma Programa de Licitação de Demanda das IOU e um Programa de Reservas de Demanda da CPA. Estes programas tiveram um orçamento inicial de US\$ 23,8 milhões em 2003, com US\$ 9,3 milhões adicionais em 2004 (CEC, 2007).

Por outro lado, as atividades do GT 1 se concentraram na elaboração de uma visão de longo prazo para o desenvolvimento da capacidade de resposta à demanda na Califórnia, visão para o futuro (2002-2007)¹⁷. Esses esforços coordenados das agências de energia do Estado contribuíram na criação do primeiro *Energy Action Plan (EAP)*¹⁸, publicado em maio de 2003, cujo objetivo era garantir o fornecimento adequado, confiável e a preços razoáveis de energia elétrica e gás natural. O EAP dava prioridade à eficiência energética e a resposta à demanda, propondo ações para otimizar a conservação da energia e a eficiência de recursos.

A partir das indicações do EAP, a CPUC definiu as metas de resposta à demanda a serem atingidas pelas três IOUs em cada ano até 2007¹⁹, através da implementação de maneira voluntária de um sistema de precificação dinâmica, conforme exposto na Tabela 2.

Tabela 2 - Objetivos de Redução do Pico De Demanda Definidos em 2003. Dados em Relação ao Ano Anterior

| Ano | PG&E | SCE | SDG&E |
|------|--------|--------|-------|
| 2003 | 150 MW | 150 MW | 30 MW |
| 2004 | 400 MW | 400 MW | 80 MW |
| 2005 | 3% | 3% | 3% |
| 2006 | 4% | 4% | 4% |
| 2007 | 5% | 5% | 5% |

Fonte: Adaptado de CEC (2007).

Em janeiro de 2005, a CPUC apresentou a Decisão 05-01-056 que aprovou dois tipos de programas de *demand response*²⁰:

17 CPUC, Apêndice A, Decisão 03-06-032 de 5 de Junho de 2003, http://www.caiso.com/Documents/OriginalCaliforniaDemandResponseVisionStatement_AdoptedbyCPU-Cin2003_.pdf

18 Energy Action Plan. May 13, 2003. http://www.energy.ca.gov/energy_action_plan/2003-05-08_ACTION_PLAN.pdf

19 CPUC, Decisão 03-06-032 de junho de 2003, http://docs.cpuc.ca.gov/PublishedDocs/WORD_PDF/FINAL_DECISION/26965.PDF

20 CPUC, Decisão 05-01-056 de janeiro de 2005, http://docs.cpuc.ca.gov/PublishedDocs/WORD_PDF/FINAL_DECISION/44881.PDF

- Os programas de resposta aos preços (*Price-Responsive Programs*), onde os clientes escolhem o quanto reduzir a carga que eles podem fornecer baseados no preço da eletricidade ou no incentivo de redução de carga por quilowatt (kW) ou quilowatt-hora (kWh)
- Os programas de fiabilidade provocada (*Reliability Triggered Programs*) em que os clientes concordam reduzir sua carga em algum nível contratualmente determinado, em troca de um incentivo, muitas vezes, um desconto de preço de *commodities*.

Em setembro de 2005, a Comissão de Energia e a CPUC publicaram o *Energy Action Plan II* (EAP II), que continuou considerando a eficiência energética e a resposta à demanda como as duas principais prioridades para atender às necessidades crescentes de energia da Califórnia, e apresentou sugestões mais detalhadas para promover a sua adoção (CEC, 2007).

Em particular, a EAP II definiu as ações que seriam tomadas para facilitar a *demand response* no estado de Califórnia. Muitas dessas ações voltadas à instalação de medição avançada e sua integração com programas de tarifação dinâmica. A CPUC também publicou a Decisão 08-09-039 onde se aprovou a proposta da *Southern California Edison Company* (SCE) e a DRA que permitia o desembolso de US\$ 1,3 bilhões de fundos do contribuinte para implantar, entre 2008 e 2012, 5,3 milhões de medidores elétricos novos que facilitam a medição avançada do consumo.

Já em julho de 2006, através Decisão 06-07-027, a CPUC autorizou à PG&E implantar um novo sistema de medição avançada para os medidores eletromecânicos existentes que incluiu a aprovação da proposta da PG&E para a aplicação de tarifas CPP. Nessa decisão se autorizou fundos do contribuinte por US\$ 1,6 bilhões. No entanto, em março de 2008, em Decisão 09-03-026 a Comissão autorizou a PG&E um financiamento adicional de US\$ 623 milhões para atualizar o sistema já aprovado de medidores eletrônicos com funcionalidade melhorada (CEC, 2007).

Por fim, em abril de 2007, foi publicada a Decisão 07-04-043 que possibilitava a elaboração de um acordo entre a SDG&E, a DRA e Rede de Ação dos Consumidores de Serviços Públicos para o desembolso de US\$572 milhões em fundos do contribuinte a fim de desenvolver o projeto de medição avançada da SDG&E durante o período 2007-2011 (VAASAETT GETT, 2010).

Em síntese, na Califórnia a agência reguladora requereu planos de implementação de medição inteligente de todas as *IOWs* com o objetivo de aumentar o nível de *demand response* ao controlar o pico de consumo e, assim, evitar outra crise do setor elétrico. O montante de *funding* para o *roll out* de medidores inteligentes foi expressivo. A CPUC autorizou US\$ 1,74 bilhões no

ano de 2006 para a PG&E e em 2007 a SCE solicitou US\$ 1,72 bilhões (HANEY *et al.*, 2009).

O *roll out* de medidores inteligentes foi plenamente alcançado na Califórnia, com mais de 12 milhões de medidores instalados nas áreas de atuação das três grandes *IOUs* do estado, com um baixo número de clientes que optaram pela política de *opt out* (CPUC, 2015). Sobre este ponto convém uma nota adicional. O *roll out* de medidores inteligentes encontrou alguma resistência na Califórnia, particularmente em função de preocupações com a saúde e a privacidade. Em alguns condados considerou-se até o banimento de futuras instalações de medidores inteligentes e até mesmo a prisão da equipe de instaladores dos medidores. Houve em alguns locais uma reação muito forte ao *roll out* em curso. A consequência dessas reações foi a concepção de uma política de *opt out* (HC, 2013)²¹.

Assim, a Califórnia já tinha chegado ao ano de 2007 (aprovação do *EISA*) e 2009 (*Recovery Act*) com grandes avanços em termos de políticas e regulações em prol da modernização do setor elétrico com vistas particularmente ao aumento de *demand response* no estado.

11.2.3. A Fase 2: consequências do *EISA* e do *Recovery Act*

O *Energy Independence and Security Act* (*EISA*), aprovado em 2007, consiste em um relevante instrumento de política para modernizar os sistemas de transmissão e distribuição dos EUA, permitindo assim que o tenha um maior nível de segurança do suprimento. A modernização do sistema de transmissão foi referida pela citada lei como “*Smart Grid*” e foi estabelecida pela já mencionada força tarefa *The Smart Grid Task Force*. Já o *Recovery Act*, aprovado em 2009, acelerou o desenvolvimento de tecnologias de *smart grids* com o investimento de US\$ 4,5 bilhões que propiciem um aumento na oferta e na confiabilidade do sistema elétrico modernizando a rede de distribuição e implementando projetos de demonstração e implementação de tecnologias (IEA, 2014). Para o estado da Califórnia são destinados cerca de US\$ 1,2 bilhão de fundos para o desenvolvimento de *smart grids*. Na seção 112.5 serão detalhados os fundos destinados aos projetos de *smart grids*.

21 No entanto, a CPUC criou mecanismos para estimular a adoção do medidor inteligente. A manutenção dos antigos medidores (*opt out*) levaria a cobrança de uma taxa de medição por parte da distribuidora. A PG&E foi autorizada a cobrar US\$ 75 anuais ou US\$ 10 mensais de tarifas de *opt out* (HC, 2013). A legislação de *opt out* é de 2010 (AB 17 2010) que ordena que as *utilities* ligadas à CPUC permitam os clientes à rejeição de instalação de *smart meters*, ao mesmo tempo em que ofereçam opções a tais clientes e suspendam a implementação dos medidores até que os requerimentos sejam alcançados.

11.2.3.1. O Energy Independence and Security Act (EISA)

Das ações legislativas que ajudam a promoção de desenvolvimento e implementação de projetos de *smart grids* nos EUA merece especial atenção o *Energy Independence and Security Act* (EISA) de 2007, que estabelece uma política nacional de modernização da rede e fornece incentivos para os *stakeholders* investirem em iniciativas de *smart grids*. Em complemento à lei de 2005 (*Energy Policy Act*), o Congresso dos EUA aprovou o EISA que se apresenta como a política dos EUA que apoia a modernização dos sistemas de transmissão e distribuição de eletricidade do país para que sejam capazes de manter uma infraestrutura segura e confiável do setor de eletricidade que seria caracterizada como *smart grid*, cujos objetivos são claramente expressos na Lei (MONYPENY, 2013).

- Aumentar o uso de tecnologias de controle e informações digitais para a melhoria da confiabilidade, segurança e eficiência da rede elétrica;
- Otimização dinâmica dos recursos e operações das redes com plena segurança cibernética;
- Implementação e integração de recursos e geração distribuída, incluindo as fontes renováveis;
- Desenvolvimento e incorporação da *demand response*, dos recursos do lado da demanda e de eficiência energética;
- Implementação de tecnologias “inteligentes” para medição, comunicação referente ao status e as operações da rede, bem como a distribuição automatizada;
- Integração de aparelhos “inteligentes” e de serviços ao consumidor;
- Implementação e integração de tecnologias avançadas de *storage* e *peak shaving*;
- Desenvolvimento de padrões para a comunicação e interoperabilidade de aparelhos e equipamentos conectados à rede elétrica.

Como consequência da EISA a FERC publicou em, 2009, o *Smart Grid Policy Statement* (FERC, 2009)²². Tal proposição provê um guia relacionado ao desenvolvimento de uma rede inteligente para o sistema de transmissão de energia elétrica do país, com foco no desenvolvimento de padrões que sejam fundamentais para que se obtenha a interoperabilidade e funcionalidade dos aparelhos e dos sistemas de *smart grids* nos EUA.

²² O EISA desencadeou a preparação de normas e procedimentos para adoção dos padrões e protocolos de operação relacionados ao funcionamento e a interoperabilidade das tecnologias *smart grids* por parte da FERC.

11.2.3.2. Recovery Act

Outro marco fundamental para o desenvolvimento de *smart grids* nos EUA foi a aprovação da “American Recovery and Reinvestment Act of 2009”, cujo objetivo geral é a recuperação econômica com o foco de medidas de estímulos ao investimento em infraestrutura nos Estados Unidos. O setor de energia elétrica recebe particular e especial destaque. Trata-se de um projeto de estímulo econômico criado para ajudar a economia dos Estados Unidos se recuperar da crise econômica que começou no final de 2007. Em síntese, o *Recovery Act* foi desenvolvido (UNITED STATES, 2009):

- Para preservar e criar postos de trabalho e promover a recuperação econômica;
- Para ajudar os setores mais afetados pela recessão;
- Para fornecer os investimentos necessários para aumentar a eficiência econômica, estimulando os avanços tecnológicos da ciência e da saúde;
- Para investir em transporte, proteção ambiental e outras infraestruturas que proporcionam benefícios econômicos no longo prazo;
- Para estabilizar os orçamentos de governos estaduais e locais, a fim de minimizar e evitar reduções nos serviços essenciais e contraproducentes aumentos de impostos locais.

O Congresso dos EUA promulgou o *Recovery Act* em 17 de fevereiro de 2009, alocando 787 bilhões de dólares para financiar cortes de impostos e suplementos aos programas de assistência social, bem como o aumento dos gastos em educação, saúde, infraestrutura e do setor de energia. Como lembram Rivera *et al.* (2013) nos EUA, o pacote de incentivos à economia de 2009 somou forças à preocupação com a segurança energética norte-americana, quando foram destinados US\$ 4,5 bilhões em fundos para o desenvolvimento das *smart grids* (‘Electricity Delivery and Energy Reliability’). Tais fundos são aprovados pelo Departamento de Energia dos EUA por meio de aprovação de projetos apresentados pelas empresas do setor (*IOUs* e *POUs*).

Os fundos são disponibilizados para os gastos e investimentos necessários para a modernização do setor elétrico com o objetivo de aumentar a confiabilidade das atividades do setor. Os investimentos são direcionados a equipamentos que propiciem *demand response*, e que assegurem a segurança e confiabilidade da infraestrutura do setor de energia, pesquisa em *energy storage*, e desenvolvimento, demonstração e implementação dos programas autorizados pelo EISA (UNITED STATES, 2009).

Nos EUA vários estados adotaram regulações próprias que requerem ações das *IOUs* e *POUs* para a instalação de medidores inteligentes e outros investi-

mentos em *smart grids*, enquanto outros começaram de maneira mais modesta, apenas com programas-piloto. Os custos desses investimentos são tipicamente cobertos por meio de preços regulados nos serviços de distribuição física. Os fundos federais do *Recovery Act* certamente aceleraram as atividades de *smart grids* no país, e esses incentivos financeiros têm sido reforçados por obrigações definidas pelos estados e por programas-piloto (JOSKOW, 2012).

O *Recovery Act* disponibilizou cerca de US\$ 4 bilhões de *funding* de origem federal no *Smart Grid Investment Grant Program* (SGIG) e no *Smart Grid Demonstration Program* (SGDP). O SGIG visa integrar fontes renováveis geradas de forma distribuída no sistema. Não obstante, o programa também contribui na criação de novos empregos, o avanço industrial, o aumento de competitividade (MONYPENY, 2013; RIVERA *et al.*, 2013). Este programa recebeu um financiamento inicial de cerca de US\$ 8 bilhões, com US\$ 3,4 bilhões aportados pelo fundo para a modernização da rede elétrica e em torno de US\$ 4,5 bilhões da esfera privada, a serem executados entre 2009 e 2015²³. A iniciativa abrange 99 projetos de investimento em sistemas avançados de transmissão e distribuição, infraestrutura avançada de medição e sistemas de informação para os clientes com a participação de mais de 200 concessionárias de energia elétrica (DOE, 2013).

Por sua vez, o SGDP tem o objetivo de comprovar através da aplicação prática que as tecnologias *smart grids* são efetivamente custo-eficientes ferramentas e propiciam melhorias nos sistemas elétricos (DOE, 2014b). O programa contou com um orçamento total de US\$ 1,5 bilhões, a partir das contribuições do governo federal (US\$ 600 bilhões) e dos consórcios industriais (US\$ 900 milhões), para a realização de 32 projetos de demonstração durante o período entre 2009 e 2015, tendo sido verificada a seguinte distribuição por tipo de projeto: 16 iniciativas de *smart grid* regionais que obtiveram cerca de 57% do total de financiamento e 16 projetos de armazenamento de energia com 43% dos recursos do programa (DOE, 2013; DOE, 2014b).

Na Califórnia, por exemplo, a CPUC aprovou, no ano de 2009, norma que estabelece os processos para a análise das *PUCs* e *IOUs* dos projetos de modernização da rede com vistas à obtenção de *funding* do *Recovery Act*. Na seção 3.5 serão apresentados os projetos financiados por fundos do *Recovery Act* na Califórnia. Em 2012 a EPRI em conjunto com o DOE, publicou o *Guidebook for Cost/Benefit Analysis of Smart Grid Demonstration Projects*, com vistas à mensuração dos impactos e à monetização dos benefícios dos projetos (EPRI, 2012).

23 Gastos estimados dos fundos oriundos do *Recovery Act* por categoria são: Sistemas de transmissão: US\$ 620 milhões; Sistemas de distribuição: US\$ 1,960 bilhões; Infraestrutura de medição avançada (AMI): US\$ 4,05 bilhões; e *Customer systems*: US\$ 1,280 bilhões.

11.2.4. A Consolidação: Policy framework for the 21st Century Grid (2011)

O governo federal apresentou um arcabouço de política de modernização do setor elétrico dos EUA que leva em conta as metas estabelecidas pelo *EISA* e os investimentos apoiados pelo *Recovery Act*. O *Policy framework for the 21st Century Grid*, aprovado em 2011, reforça o papel do FERC e do governo federal no processo de modernização do sistema elétrico dos EUA. O arcabouço se baseia em quatro pilares (UNITED STATES, 2011):

1. Propiciar investimentos em *smart grids* que sejam custo-efetivos:

- As agências reguladoras estaduais e federais devem continuar a considerar as estratégias de fortalecimento dos mercados e incentivos as *utilities* por meio da provisão de investimentos custo-efetivos que melhorem a eficiência energética;
- O governo federal continuará a investir em pesquisa, desenvolvimento, e projetos de demonstração de *smart grids*;
- O governo federal continuará a dar apoio ao compartilhamento de informações oriundos dos projetos já implementados de *smart grids*, de modo a promover investimentos custo-efetivos e remover eventuais barreiras informacionais.

2. Alavancar o potencial para a inovação no setor elétrico:

- O governo federal continuará a acelerar o desenvolvimento e adoção de padrões “abertos” (*open standards*)²⁴;
- As autoridades federal, estadual e local devem se esforçar para reduzir a geração de custos associados ao fornecimento de energia aos consumidores durante o pico de demanda e encorajar a participação em programas de gerenciamento de demanda;
- As autoridades estadual e federal devem continuar as iniciativas de *smart grids* e energia inteligente de forma a proteger e prevenir os consumidores de práticas anti-competitivas.

24 “An open or interoperable metering system permits transparent access and integration among equipment and applications. By permitting vendor-independent solutions, an open system improves competition, gives greater flexibility and allows for future development rather than lock-in to one specific solution. Proprietary solutions by contrast limit the meter variations that can be used and restrict access to metering data. Internationally there are examples of both types of solutions.” (HANEY et al. 2009: p. 21).

3. Dar mais poder de decisão aos clientes ao propiciar a tomada de decisão com maior acesso à informação.

- Os formuladores de política em nível estadual e federal bem como as agências reguladoras devem avaliar os melhores meios para que os consumidores recebam um conjunto significativo de informação acerca das tecnologias de *smart grids* e todos os seus serviços e opções a elas relacionados;
- Os formuladores de política estadual devem buscar o desenvolvimento de políticas e estratégias que assegurem que os consumidores tenham acesso remoto e sejam capazes de controlar os equipamentos, bem como receberem as informações a respeito de seu consumo de energia num formato padrão definido;
- As agências reguladoras em nível estadual e federal devem, nas instâncias que as *utilities* desenvolvem a infraestrutura, considerar meios que assegurem a facilitação do gerenciamento do consumo de energia por parte dos clientes nos novos aparelhos e máquinas;
- Os formuladores de política estadual e federal bem como as agências reguladoras devem considerar a atualização e a garantia de proteções ao consumidor referentes ao uso de tecnologias.

4. Aumentar a segurança da rede:

- O governo federal dará continuidade ao desenvolvimento de padrões de interoperabilidade abertos e rigorosos, bem como diretrizes para a segurança cibernética por meio da cooperação público-privada;
- O governo federal continuará a trabalhar com os *stakeholders* de modo a promover uma rigorosa cultura baseada em segurança cibernética, incluindo gerenciamento ativo de riscos, avaliações de *performance*, e monitoramento em tempo real.

Em síntese, com o *Policy Framework* o governo federal continuará com o seu engajamento e cooperação com os estados, com a indústria, com as associações de consumidores, com as *utilities*, bem como outros *stakeholders* com o objetivo de assegurar que o sistema elétrico vá ao encontro das necessidades dos consumidores operando com mais eficiência, segurança e propicie nesse novo contexto uma plataforma contínua para inovações (EPRI, 2012).

A rigor, apesar de ter sido lançado no final de 2011, tal arcabouço está em pleno vigor visto que a modernização do setor elétrico dos EUA é um processo de longo prazo.

11.2.5. Projetos-piloto e Demonstração por Tipo de *Funding*

Na página do DOE (2015c) estão contemplados os projetos financiados pelos fundos oriundos do *Recovery Act*, intitulados *Smart Grid Investment Grant*. A esses fundos estão relacionados 100 projetos desenvolvimento e implementação de tecnologias de *smart grids*. Há outros dois fundos importantes, aos quais estão associados um número importante de projetos: o *Renewable and Distributed Systems Integration* (41 projetos) e o *Workforce Training* (49 projetos).

O *funding* total dessas três fontes destinado ao desenvolvimento de *smart grids* no estado da Califórnia se aproxima a cifra de US\$ 1,2 bilhões. Até o ano de 2015 foram desembolsados cerca de US\$ 400 milhões. No caso do fundo *Workforce Training*, há apenas um projeto financiado no Estado da Califórnia: a *Glendale Community College California*, tendo recebido US\$ 750.000,00 de um valor aprovado de US\$ 844.396,00. As duas tabelas a seguir apresentam os projetos financiados com os outros dois fundos citados.

O fundo *SGIG* foca na implementação de tecnologias, ferramentas e técnicas associadas às *smart grids* já existentes e que possam melhorar a *performance* da rede de maneira imediata. Já o fundo *SGDP* explora os avanços relacionados às tecnologias de *smart grids* e sistemas de armazenamento de energia (*energy storage*) e avalia a *performance* para futuras aplicações. As *PUCs* receberam recursos federais na ordem de US\$ 321 milhões para programas com custo total de US\$ 558 milhões. Esses investimentos perfazem aproximadamente US\$ 240 per capita para os cerca de 2,4 milhões de clientes dessas *utilities* (SAIC, 2011).

A Tabela 3 apresenta a lista de projetos em andamento das *utilities* do estado da Califórnia (*IOUs* e especialmente *POUs*) com fundos que objetivam a integração de fontes distribuídas e renováveis. Não à toa os projetos se concentram em microgrids, eólica, renováveis e *energy storage*. Os projetos perfazem um valor total de US\$ 696 milhões e até 2015 foram desembolsados cerca de US\$ 187 milhões.

Tabela 3 - Projetos Financiados com *Funding* “*Renewable and Distributed Systems Integration*”. Estado da Califórnia

| Projeto | Valor recebido do funding | Valor total do projeto |
|--|---------------------------|------------------------|
| Amber Kinetics, Inc. (Flywheel Energy Storage Demonstration) | 3.694.660 | 7.457.590 |
| Chevron Energy Solutions L.P. (CERTS: Microgrid Demonstration_with Large-Scale Energy Storage and Renewables at Santa Rita Jail) | 6.418.710 | 12.285.500 |
| Seo Inc (Solid State Batteries for Grid-Scale Energy Storage) | 6.196.060 | 12.392.100 |

| | | |
|---|--------------------|--------------------|
| San Diego Gas & Electric (Borrego Springs Microgrid) | 7.477.810 | 12.399.900 |
| Primus Power Corporation (Wind Firming EnergyFarm) | 14.000.000 | 46.700.000 |
| Southern California Edison Company (Tehachapi Wind Energy Storage Project) | 24.978.300 | 49.956.500 |
| Southern California Edison Company (Irvine Smart Grid Demonstration) | 39.621.200 | 79.242.400 |
| Los Angeles Department of Water and Power (Smart Grid Regional Demonstration) | 60.280.000 | 120.560.000 |
| Pacific Gas and Electric Company (Advanced Underground Compressed Air Energy Storage) | 25.000.000 | 355.938.000 |
| Total | 187.666.740 | 696.931.990 |

Fonte: DOE (2015b).

A tabela 4 destaca os projetos financiados pelo fundo SGIG, centrados em projetos de demonstração de *smart grids* em larga escala. O total dos projetos é orçado em US\$ 504 milhões tendo sido desembolsados até 2015 US\$ 210 milhões.

Tabela 4 - Projetos Financiados com *Funding "SGIG"*. Estado da Califórnia

| Projeto | Valor recebido do funding | Valor total do projeto |
|--|----------------------------------|-------------------------------|
| Modesto Irrigation District (Smart Grid Deployment and Installation Project) | 1.493.150 | 3.495.110 |
| M2M Communications (Agricultural Load Control Program in California Central Valley Grid) | 2.171.710 | 8.620.910 |
| Honeywell International, Inc. (Full-Scale Implementation of Automated Demand Response) | 11.384.400 | 22.768.700 |
| Burbank Water and Power (Smart Grid Program) | 20.000.000 | 50.818.200 |
| City of Glendale (AMI Smart Grid Initiative) | 20.000.000 | 51.302.400 |
| San Diego Gas & Electric Company (SDG&E Grid Communication System) | 28.115.100 | 59.427.600 |
| Sacramento Municipal Utility District (SmartSacramento) | 127.506.000 | 307.698.000 |
| Total | 210.670.360 | 504.130.920 |

Fonte: DOE (2015b).

A Tabela 5 sintetiza todos os 17 projetos (todos os mencionados nas tabelas 1 e 2) incluindo o projeto da Glendale Community College. O total de projetos de *smart grids* financiados por fundos do *Recovery Act* no estado da Califórnia somam cerca de US\$ 1,2 bilhão, tendo sido desembolsado cerca de um terço do valor até 2015.

Tabela 5 - Total de Projetos de *Smart Grids* Financiados por Recursos do *Recovery Act* no Estado da Califórnia

| Projeto | Valor recebido do funding (US\$) | Valor total do projeto (US\$) |
|---|---|--------------------------------------|
| 1. Glendale Community College | 750.000 | 844.396 |
| 2. Modesto Irrigation District (Smart Grid Deployment and Installation Project) | 1.493.150 | 3.495.110 |
| 3. Amber Kinetics. Inc. (Flywheel Energy Storage Demonstration) | 3.694.660 | 7.457.590 |
| 4. M2M Communications (Agricultural Load Control Program in California Central Valley Grid) | 2.171.710 | 8.620.910 |
| 5. Chevron Energy Solutions L.P. (CERTS: Microgrid Demonstration with Large-Scale Energy Storage and Renewables at Santa Rita Jail) | 6.418.710 | 12.285.500 |
| 6. Seeo Inc (Solid State Batteries for Grid-Scale Energy Storage) | 6.196.060 | 12.392.100 |
| 7. San Diego Gas & Electric (Borrego Springs Microgrid) | 7.477.810 | 12.399.900 |
| 8. Honeywell International. Inc. (Full-Scale Implementation of Automated Demand Response) | 11.384.400 | 22.768.700 |
| 9. Primus Power Corporation (Wind Firming EnergyFarm) | 14.000.000 | 46.700.000 |
| 10. Southern California Edison Company (Tehachapi Wind Energy Storage Project) | 24.978.300 | 49.956.500 |
| 11. Burbank Water and Power (Smart Grid Program) | 20.000.000 | 50.818.200 |
| 12. City of Glendale (AMI Smart Grid Initiative) | 20.000.000 | 51.302.400 |
| 13. San Diego Gas & Electric Company (SDG&E Grid Communication System) | 28.115.100 | 59.427.600 |
| 14. Southern California Edison Company (Irvine Smart Grid Demonstration) | 39.621.200 | 79.242.400 |
| 15. Los Angeles Department of Water and Power (Smart Grid Regional Demonstration) | 60.280.000 | 120.560.000 |
| 16. Sacramento Municipal Utility District (SmartSacramento) | 127.506.000 | 307.698.000 |
| 17. Pacific Gas and Electric Company (Advanced Underground Compressed Air Energy Storage) | 25.000.000 | 355.938.000 |
| TOTAL (Projetos financiados por fundos do Recovery Act) | 399.087.100 | 1.201.907.306 |

Fonte: DOE (2015b).

Tais projetos de demonstração devem oferecer uma base de informações para avaliações de custo-benefício que propiciem a alavancagem e os investimentos em *roll out* das tecnologias que propiciarão a modernização da infraestrutura do setor elétrico dos EUA. Esse ponto será explorado na próxima seção.

11.2.6 Os Custos e Benefícios e a Avaliação dos Ganhos de Eficiência

Os benefícios de projetos de *smart grids* (particularmente *smart metering*) são majoritariamente em termos de ganhos operacionais, perfazendo 80-85% dos benefícios segundo as projeções das distribuidoras (economia dos horários de pico de demanda). Essa já é uma evidência verificada a partir dos dados colhidos pelas distribuidoras que participam de projetos de *roll out* de *smart metering* (HC, 2013)²⁵.

Em termos gerais os investimentos em *smart grids* em redes de distribuição locais oferecem uma variedade de ganhos potenciais, tais como (JOSKOW, 2012):

- A redução de custos operacionais e de manutenção;
- A melhoria de confiabilidade e de respostas a interrupções de fornecimento de energia;
- Melhorar a qualidade da tensão (eliminar as curtas interrupções na voltagem e na frequência);
- Integrar fontes energéticas renováveis de caráter intermitente, particularmente a solar fotovoltaica;
- Acomodar demandas para recarga de veículos elétricos no futuro;
- Implementar sistemas de medição inteligente que permitam precificação dinâmica e que reflitam os preços no mercado atacadista;
- Expandir a gama de produtos e serviços aos clientes de eletricidade.

A metodologia para a análise custo-benefício de projetos de *smart grids* nos EUA é feita por meio das recomendações do Relatório “Methodological Approach for Estimating the Benefits and Costs of Smart Grid Demonstration Projects” (EPRI, 2010). Em síntese, destaca-se que os métodos desenvolvidos buscam melhorar as futuras estimativas de benefícios oriundos de investimentos em *smart grids*, que são direcionados aos consumidores, a sociedade em geral e as *utilities*. Nesse sentido, um benefício é definido como um impacto de um

²⁵ Os benefícios operacionais incluem reduções de custos com leitura dos medidores, reduções de custos com serviços de atendimento ao cliente, uma análise em tempo real de interrupções na rede, melhora nos planos de apoio e emergência, redução de custos com manutenção, redução das frotas de veículos e benefícios nas áreas de cobrança (EPRI, 2010).

projeto de *smart grid* que tenha valor para as firmas, para as famílias, e para a sociedade em geral, devendo ser quantificados sempre que possível (EPRI, 2010).

Em relação à avaliação de custos e benefícios o elemento referente ao “descasamento” entre ambos é considerado importante, uma vez que envolve o ciclo de vida da tecnologia adotada (CPUC, 2015). Como qualquer outro investimento, os benefícios são esperados para se realizarem ao longo do ciclo de investimento, o que em quase todos os casos é um tempo maior em que os custos se efetivam. Um investimento, por exemplo, pode gerar um custo por três anos e gerar um retorno em dez ou quinze anos ou até mais. Nesse sentido é inapropriado comparar os benefícios estimados com os custos efetivos devido a esse descasamento temporal. Contudo, no caso dos medidores (*smart metering*) é possível apurar os benefícios durante o curso da implementação do projeto (CPUC, 2015).

A metodologia básica para a avaliação de benefícios líquidos de projetos de *smart metering* é basicamente a mesma nos diversos estudos (HANEY *et al.*, 2009). Com o objetivo de conduzir uma análise financeira que determinará se o projeto será lucrativo para aqueles que serão responsáveis pela instalação e manutenção dos medidores, o método de cálculo se baseia em:

$$\text{Benefício líquido} = (\text{Capex} + \text{Opex}) - \text{Benefícios financeiros} \text{ (Equação 1)}$$

Todas as categorias de custos e benefícios são calculadas como fluxos financeiros ao longo do ciclo de vida do projeto usando uma taxa de desconto baseada no custo do capital que seja apropriado para a empresa em questão. Dessa forma os valores podem ser expressos em termos de valores presentes.

Quando o objetivo da análise é determinar o impacto social ampliado do projeto de *smart metering* o método de cálculo é expresso por:

$$\text{Benefício social líquido} = ((\text{Capex} + \text{Opex}) + \text{Outros custos}) - (\text{Benefícios financeiros} + \text{Benefícios ao consumidor} + \text{Outros benefícios}) \text{ (Equação 2)}$$

Na condução da análise de custo-benefício social utiliza-se uma taxa de desconto social para refletir o custo de oportunidade de capital para a sociedade como um todo. Quanto mais alta a taxa de desconto, maiores serão os valores deflacionados de futuros custos e benefícios (HANEY *et al.*, 2009).

No estado da Califórnia as três IOUs precisam relatar os custos e benefícios associados aos programas de *smart grids*, atribuindo valores monetários aos benefícios oriundos da adoção de investimentos em tecnologias de *smart grids*

(CPUC, 2015)²⁶. Segundo a IEA (2011) as três IOUs já possuem programas de *demand response*²⁷

A Tabela 6 apresenta os dados para o período compreendido entre julho de 2013 e junho de 2014, com a PG&E liderando os custos com os projetos de *smart grids* e a SCE liderando a obtenção de benefícios no período apurado.

Tabela 6 - Custos e Benefícios De *Smart Grids* Segundo as IOUs da Califórnia (US\$ milhões)*

| IOU | Custos | Benefícios |
|------------|---------------|-------------------|
| PG&E | 816,0 | 79,0 |
| SDG&E | 114,5 | 54,0 |
| SCE | 110,0 | 183,0 |

* Para o período de julho de 2013 a junho de 2014.

Fonte: CPUC (2015).

Dentre os custos estão os investimentos em aumento do comprometimento dos clientes, o aumento da confiabilidade nos sistemas de transmissão e distribuição²⁸, investimentos em aumento da eficiência operacional, aumento da segurança e ampliação na integração dos sistemas. Já em relação aos benefícios são apresentados os ganhos econômicos, sociais, ambientais²⁹ e de confiabilidade do sistema.

No caso da SGD&E, mais da metade dos custos se deu com medidas de melhoria de comprometimento do cliente e com investimentos em aumento da confiança, automatizando os sistemas de distribuição. No que tange aos benefícios, a empresa teve maior parte de seus ganhos com benefícios econômicos. A SCE segue o mesmo padrão da SGD&E, acrescentando os fortes

26 Apesar da metodologia de cálculo ser similar entre as IOUs existem algumas diferenças entre a PG&E, a SDG&E e a SCE. A avaliação do valor monetário de certos benefícios ambientais com redução de gases de efeito estufa ainda precisa ser feita (CPUC, 2015).

27 O estado da Califórnia lançou o primeiro programa piloto abrangente de precificação dinâmica, conhecido como "Statewide Pricing Pilot". Este programa envolveu aproximadamente 2500 clientes residenciais, comerciais e industriais. O programa forneceu informações sobre a "boa vontade" dos clientes em baixar seus picos de demanda com níveis diferentes de preços. Um grande número de clientes sinalizou que aqueles que mais informados são mais abertos a participar de programas de precificação dinâmica (CPUC, 2013).

28 A distribuição automatizada melhora a resposta aos clientes ao reduzir o tempo de interrupção. Ao mesmo tempo evita-se o despacho desnecessário quando existem aparelhos automatizados que são controlados de maneira remota (CPUC, 2015).

29 Os benefícios ambientais decorrem da crescente integração da geração renovável e distribuída. A crescente integração dos veículos elétricos também geram benefícios ambientais ao ajudar na redução da emissão de gases (CPUC, 2015).

custos em aumento da confiabilidade nos sistemas de transmissão. No entanto, os benefícios se dão quase que exclusivamente no aumento da confiabilidade do sistema. Já a PG&E apresenta elevados custos em melhoria na confiabilidade do sistema de transmissão, com valores bem mais elevados que as demais IOUs da Califórnia. Já os benefícios são concentrados em poupanças obtidas com o aumento da confiabilidade junto aos clientes (CPUC, 2015).

Segundo a CPUC o programa de *smart grid* continua a gerar benefícios aos contribuintes da Califórnia. As despesas totais do programa são compatíveis com as originalmente orçadas. No entanto o caminho é longo para o pleno atingimento das metas do programa, em particular, um sistema de energia sem emissões de carbono (CPUC, 2015).

Considerações finais

A Califórnia oferece um rico caso analítico de experiência de políticas que induziram o desenvolvimento e implementação de tecnologias *smart grids*, propiciando um ambiente favorável para o estímulo à inovação tecnológica no setor elétrico (*unlocking innovation in electricity sector*) em direção a investimentos custo-efetivos. Vários esforços legislativos e regulatórios têm sido feitos no sentido de propiciar um sistema elétrico mais moderno, confiável e preparado para os desafios associados às transições tecnológicas e energéticas do século XXI. Tais esforços sugerem um processo *government-led* (*Energy Policy Act, EISA, Recovery Act*) guiado pelo objetivo de aumentar a eficiência energética e a confiabilidade do sistema elétrico a partir de uma profunda modernização na infraestrutura do setor.

O *Recovery Act* propiciou boa parte dos fundos para os projetos de demonstração e pilotos que servem de base para a adoção a até mesmo o *roll out* de tecnologias que propiciem uma modernização da rede, tornando a mesma mais “inteligente”. Tais projetos oferecem uma ampla base de dados o que permite a avaliação de custos e benefícios, bem como a identificação de incentivos ou arranjos regulatórios que possibilitem a adoção em massa das novas tecnologias.

À luz da comparação com experiências internacionais, a Califórnia pode ser enquadrada como um caso “maduro” de desenvolvimento e adoção de tecnologias *smart grids* (casos parecidos são os da Itália, França e Suécia, com *roll out* de medidores, políticas de *opt out* e forte investimento em automação da rede). O estado oferece incentivos regulatórios às IOUs para que invistam em tecnologias que propiciem o aumento da eficiência energética (“Decoupling Plus”). Ademais, como uma reação à crise enfrentada pelo setor elétrico em 2000/2001, o estado se colocou numa condição vanguardista em termos de adoção de políticas de estímulo ao aumento de *demand response* por parte dos consumidores.

Não à toa que já em 2002, por meio de normas e regulações da CPUC, o estado começou sua política de *roll out* de medidores inteligentes, plenamente concluída poucos anos depois, com fortes investimentos em infraestrutura de medição avançada. O guarda-chuva político, regulatório e legal oriundo da esfera federal certamente atuou como potencializador do processo que enfrentou e ainda enfrenta barreiras como qualquer sistema tecnológico. À medida que surgiram as barreiras, os processos foram aperfeiçoados, tais como as políticas de *opt out* no processo de *roll out* de medidores.

Vale ainda ressaltar a multiplicidade e o engajamento dos *stakeholders* no processo, inclusive com a formação de coalizões que visam à adoção e o fortalecimento dos esforços em torno das tecnologias *smart grids*. Os esforços no momento são de apuração dos custos e benefícios dos investimentos em *smart grids*. Tais informações serão de grande valia para a concepção de modelos de negócios e arranjos regulatórios que permitam a difusão das tecnologias de *smart grids* na Califórnia e nos EUA.

Referências Bibliográficas

BRAUN, G. AND HAZELROTH, S. *Energy Infrastructure Finance: Local Dollars for Local Energy*. The Electricity Journal, Vol. 28, Issue 5, June 2015, p. 6-21.

CALIFORNIA ENERGY COMMISSION (CEC). *Report to the Legislature on Assembly Bill 29X*. Real Time Metering Program, June 2002.

CALIFORNIA ENERGY COMMISSION (CEC). California Energy Commission and CPUC, Public Utilities Commission. *Energy Action Plan II*. Implementation Roadmap for Energy Policies, September 2005.

CALIFORNIA ENERGY COMMISSION (CEC), California Energy Commission. *The State of Demand Response in California*. Real Final Consultant Report, September 2007.

CALIFORNIA PUBLIC UTILITIES COMMISSION (CPUC). *Report to the Governor & the Legislature on Smart Grid Plans and Recommendations*. December 2010. Disponível em: http://www.cpuc.ca.gov/NR/rdonlyres/A3D6019B-3620-44B5-95D5-5ADFDAD714C7/0/2010_Smart_Grid_Annual_Reportzafmjd_v5.pdf. Acesso: agosto de 2015.

CALIFORNIA PUBLIC UTILITIES COMMISSION (CPUC). *California Smart Grid. Report to the Governor and the Legislature*. May 2012. Disponível em: <http://www.cpuc.ca.gov/NR/rdonlyres/7AB03474-E27C-4EB6-AB8D->

-D610A649C029/0/SmartGridAnnualReport2012Final.pdf. Acesso em: set. 2013.

CALIFORNIA PUBLIC UTILITIES COMMISSION (CPUC). *Annual Report to the Governor and the Legislature California Smart Grid per Senate Bill 17 (Paddilla, 2009)*. Disponível em: <http://www.cpuc.ca.gov/NR/rdonlyres/BCDBFE10-E89E-4933-8457-EA6B6E3D5D52/0/SmartGridAnnualReport2014Final011215.pdf>. January 2015. Acesso em agosto de 2015.

DOE (2012) – U.S. Department of Energy. *American Recovery and Reinvestment Act. Smart Grid Investment Grant Program. Progress Report*. July 2012. Disponível em: <http://energy.gov/sites/prod/files/Smart%20Grid%20Investment%20Grant%20Program%20-%20Progress%20Report%20July%202012.pdf>. Acesso: agosto de 2015.

DOE, U. S. Department of Energy. *Evaluation of Representative Smart Grid Investment Grant Project Technologies: Distributed Generation*, 2012. Disponível em: http://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-20792.pdf. Acesso em: 20/01/2015.

DOE, U. S. Department of Energy. *Smart Grid Investment Grant Program, Progress Report II*. American Recovery and Reinvestment Act of 2009. United States, 2013. Disponível em: https://www.smartgrid.gov/sites/default/files/doc/files/SGIG_progress_report_2013.pdf. Acesso em: 05/03/2015.

DOE, U. S. Department of Energy. *Smart Grid System Report*. United States, 2014a. Disponível em: <http://energy.gov/oe/downloads/2014-smart-grid-system-report-august-2014>. Acesso em: 20/11/2014.

DOE, U. S. Department of Energy. *The American Recovery and Reinvestment Act Smart Grid Highlights*. Jumpstarting a Modern Grid, 2014b. Disponível em: <http://energy.gov/sites/prod/files/2014/12/f19/SGIG-SGDP-Highlights-October2014.pdf>. Acesso em: 11/01/2015.

DOE (2015a) – U.S. Department of Energy. *Smartgrid.gov Recovery Act Smart Grid Programs*. Disponível em: https://www.smartgrid.gov/recovery_act. Acesso: out. 2015.

DOE (2015b) – U.S. Department of Energy. *Smartgrid.gov Recovery Act Smart Grid Programs*. Disponível em: https://www.smartgrid.gov/recovery_act/project_information.html. Acesso: out. 2015.

DOE (2015c) – U.S. Department of Energy. Recovery Act. *Smart Grid Investment Grants*. Disponível em: <http://energy.gov/oe/technology-development/smart-grid/recovery-act-smart-grid-investment-grants>. Acesso: out. 2015.

EIA (U.S. Energy Information Administration). *Smart Grid Legislative and Regulatory Policies and Case Studies (2011)*. Washington, DC, U.S. Department of Energy, December, 2011.

ENERGY INDEPENDENCE AND SECURITY ACT OF 2007 (EISA, 2007). *Title Xiii- Smart Grid Sec. 1301- 1308 Statement Of Policy On Modernization Of Electricity Grid*. Disponível em: <http://energy.gov/oe/downloads/title-xiii-smart-grid-sec-1301-1308-statement-policy-modernization-electricity-grid>. Acesso: agosto de 2015.

ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE (EPRI, 2010). *Methodological Approach for Estimating the Benefits and Costs of Smart Grid Demonstration Projects*. EPRI, Palo Alto.

ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE (EPRI, 2011). *Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid. A Preliminary Estimate of the Investment Requirements and the Resultant Benefits of a Fully Functioning Smart Grid*. 2011 Technical Report. Disponível em: <http://www.epri.com/abstracts/Pages/ProductAbstract.aspx?ProductId=000000000001022519>. Acesso: outubro de 2015.

ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE (EPRI, 2012). *Guidebook for Cost/Benefit Analysis of Smart Grid Demonstration Projects Revision 1, Measuring Impacts and Monetizing Benefits*. Technical Update, December 2012. Disponível em: <https://www.smartgrid.gov/files/Guidebook-Cost-Benefit-Analysis-Smart-Grid-Demonstration-Projects.pdf>. Acesso: outubro de 2015.

FEDERAL ENERGY REGULATORY COMMISSION (FERC, 2009). *Policy Statement*. Disponível em: <https://www.ferc.gov/whats-new/comm-meet/2009/071609/E-3.pdf>. Acesso: outubro de 2015.

HANEY, A. B. et al. *Smart Metering and Electricity Demand: Technology, Economics and International Experience*. EPRG Working Paper EPRG0903, Cambridge Working Paper in Economics 0905, February 2009.

HOUSE OF COMMONS (HC). *Smart meter roll-out*. House of Commons, Energy and Climate Change Committee. Fourth Report of Session 2013–14, Volume I: Report, together with formal minutes, oral and written evidence, 2013.

INSTITUTE FOR ELECTRIC INNOVATION (IEI). *State Electric Efficiency Regulatory Frameworks*. IEI Report. December 2014.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *Energy Policies of IEA Countries*. The United States. 2014 Review.

JACOBSSON, S.; BERGEK, A. *Transforming the Energy Sector: The Evolution of Technological Systems in Renewable Technology*. *Industrial and Corporate Change*, 13: 5 (2004): 815-849.

JOSKOW, P. L. *Deregulation and Regulatory Reform in the U.S. Electric Power Sector*. 2000.

JOSKOW, P. L. *Creating a Smarter U.S. Electricity Grid*. *Journal of Economic Perspectives*, volume 26, number 1, Winter 2012, pp. 29-48.

LIN, C-C. *et al. A Comparison Of Innovation Policy In The Smart Grid Industry Across The Pacific: China And The USA*. *Energy Policy*, 57, 2013, p. 119-132.

MACK, G. A. *An Assessment Of Electricity Sector Reforms To Achieve California's Energy Goals*. Sacramento, California State University, Department of Public Policy and Administration, Thesis, Master of Public Policy and Administration, Spring 2015.

MONYPENY, T. *Implementation of Smart Grid Technology in the United States*. *Papers and Publications: Interdisciplinary Journal of Undergraduate Research: Vol. 2, Article 14*, 2013. Disponível em: <http://digitalcommons.northgeorgia.edu/papersandpubs/vol2/iss1/14>. Acesso: 10 de setembro de 2015.

RIVERA, R., ESPOSITO, A. S., TEIXEIRA, I. *Redes Elétricas Inteligentes (Smart Grid): Oportunidade Para Adensamento Produtivo E Tecnológico Local*. *Revista do BNDES*, 40 (2013): 43-84, Brasil.

SCIENCE APPLICATIONS INTERNATIONAL CORPORATION (SAIC, 2011). *Defining the Pathway to the 2020 Smart Grid for California's Publicly Owned Utilities*. California Energy Commission. Publication number: CEC-500-2013-009.

THE REGULATORY ASSISTANCE PROJECT (RAP). *Electricity Regulation In the US: A Guide*. Março de 2011. Disponível em: www.raponline/RAP_Lazar_ElectricityRegulationInTheUS_Guide_2011. Acesso em agosto de 2015.

THE UNITED STATES OF AMERICA (USA, 2009). *American Recovery and Reinvestment Act of 2009* (ARRA, 2009).

THE UNITED STATES OF AMERICA (USA, 2011). *A Policy Framework for the 21st Century Grid: Enabling Our Secure Energy Future*. National Science and Technology Council Washington, D C. 2011.

ULLER, V. C. *A Crise da Califórnia e os Novos Rumos da Reforma do Setor Elétrico Americano*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Monografia de Bacharelado, Dezembro de 2005.

VAASAETT GETT, Global Energy Think Thank. *Evaluation of Residential Smart Meter Policies*. WEC – ADEME Case Studies on Energy Efficiency Measures and Policies, July 2010.

VAASAETT GETT, Global Energy Think Thank. *Case Study on Innovative Smart Billing for Household Consumers*. For the World Energy Council - WEC and ADEME, July 2013.

WEARE, C. *The California Electricity Crisis: Causes and Policy Options*. Public Policy Institute of California, 2003.

12

O Pioneirismo Italiano

Ana Luisa S. Mendes, Pedro Vardiero, Rubens Rosental,
Maria Alice E. de Magalhães

Resumo

A implementação de redes inteligentes na Itália é caracterizada pelo pioneirismo, sendo os estudos originais datados de 1996. Verifica-se que entre 2001 e 2006 a Enel realizou um *roll out* de *smart meters* motivada pela expectativa de redução de custos operacionais e das perdas não técnicas. Mais recentemente, os desafios inerentes à difusão da microgeração a partir de fontes intermitentes e de medidas de gerenciamento da demanda acentuaram a necessidade da existência de uma rede inteligente plenamente desenvolvida. Desta forma, cabe destacar a existência de diversos projetos-pilotos. Em síntese, o objetivo deste capítulo é apresentar as motivações básicas para a implementação de redes inteligentes na Itália e como este processo vem ocorrendo.

Introdução

O desenvolvimento de redes inteligentes na Itália é tratado como caso peculiar em decorrência do pioneirismo da Enel. Após estudos iniciados em 1996, esta distribuidora realizou o *roll out* voluntário de 32 milhões de *smart meters* entre os anos de 2001 e 2006. É muito relevante o fato da iniciativa da Enel ter ocorrido antes da promulgação de qualquer política de incentivo ou meramente do estabelecimento de diretrizes regulatórias que reconhecesse tais investimentos em sua base de ativos. A proatividade da Enel teve como base o fato do setor elétrico italiano apresentar um elevado índice de perdas não técnicas em função do elevado nível de inadimplência. Neste sentido, os investimentos foram realizados com a expectativa de redução, não apenas de custos operacionais, mas, sobretudo, das perdas não técnicas.

Posteriormente, em 2006 a Autoridade Regulatória Italiana promulgou a Resolução Normativa nº 292/06, que instituiu o *roll out* mandatório de *smart meters* em todo território nacional, sendo esse o passo inicial para a criação

de um marco jurídico para estimular o desenvolvimento das redes inteligentes. Neste contexto, nota-se a promoção de uma série de projetos-piloto nas áreas de geração distribuída, integração de renováveis intermitentes, mecanismos de *demand response*, automação avançada e infraestrutura para atender a tecnologia de veículos elétricos.

O desenvolvimento destes projetos-pilotos é inteiramente compatível com os compromissos italianos assumidos perante a União Europeia de busca pela sustentabilidade, especialmente no âmbito da Agenda 20/20/20¹. Mais especificamente, a Itália precisa contemplar em sua agenda medidas nas seguintes áreas (CRISPIM *et al.*, 2014):

- i. Integração entre energias renováveis e geração distribuída;
- ii. Promoção de *demand response*; e
- iii. Otimização de novos usos para eletricidade.

De todo modo, a efetiva transformação do setor elétrico italiano requer mudanças no âmbito regulatório e do ambiente de negócios para que seja possível promover e lidar com o paradigma tecnológico emergente e com os novos padrões de consumo (COPPO *et al.*, 2015).

O capítulo está estruturado em três partes. A primeira seção realiza a caracterização da indústria de eletricidade na Itália. Na sequência, a segunda trata do processo de desenvolvimento das *smart grid* na Itália de forma mais ampla. A terceira seção aborda as questões regulatórias e os principais projetos-piloto voltados para *smart grid*. Por fim, apresenta-se uma seção de conclusão, com os principais pontos abordados no texto.

12.1 - O Setor Elétrico Italiano

Nos anos 1990, a Itália deu início a um processo progressivo de liberalização do mercado de eletricidade. Neste contexto, a empresa estatal Enel² foi convertida em sociedade anônima. Trata-se de um período de fortalecimento da

1 Exige uma redução de 20% na emissão de gases de efeito estufa, aumento de 20% na eficiência energética e participação de pelo menos 20% de energias renováveis na matriz energética dos países membros (CRISPIM, *et al.*, 2014)

2 Criada por meio da Lei nº 1643, de 06 de dezembro de 1962, a monopolista Estatal Enel (Ente Nazionale per l'Energia Elettrica) tinha a tarefa de exercer, em todo território nacional, as atividades de produção, importação e exportação, transporte, transformação, distribuição e venda de eletricidade (ITÁLIA, 1962). Na época de sua formação, as empresas de eletricidade que operavam no setor foram obrigadas a vender todos os ativos para Enel, as únicas exceções foram os autoprodutores e companhias municipais, que continuaram operando na região metropolitana de suas cidades sede. Em pouco tempo a Enel assumiu mais de 1200 empresas de energia. A quebra do monopólio da Enel ocorreu no final da década de 1990 (BUSNELLO, 2014).

União Europeia, vide a criação de uma série de políticas comuns que visavam à reforma e integração de vários setores econômicos na Europa, inclusive a indústria de energia (BUSNELLO, 2014).

No escopo do setor elétrico, a promulgação da Diretiva 1996/92/EC foi a primeira referência comum para orientar a liberalização dos mercados de energia na Europa. O governo italiano implementou a Diretiva 1996/92/EC por meio da Lei Decreto nº 79, de 16 de março de 1999 (Decreto Bersani), indo além do que propunha a diretiva, ao criar uma série de regras para limitar o poder de mercado da Enel. Além disso, o Decreto Bersani abriu um profundo debate no país ao estabelecer o fim do monopólio da Enel, obrigando o governo e a agência reguladora (AEEGSI³ - *Autorità per l'Energia Elettrica il Gas e il Sistema Idrico*) a repensarem o mercado de energia (BUSNELLO, 2014; CANAZZA, 2014).

O Decreto Bersani abriu o mercado para competição e, com a desverticalização, o mercado de energia na Itália passou a ser dividido em quatro segmentos (com desagregação física e jurídica entre eles): (i) produção e importação; (ii) transmissão e despacho; (iii) distribuição; (iv) comercialização. Isso conferiu maior flexibilidade e dinamismo ao mercado, possibilitando a entrada de novos *players* nos diversos segmentos (BUSNELLO, 2014; CANAZZA, 2014).

Em termos de matriz elétrica, ressalta-se que no início das reformas ocorreu certa dificuldade no atendimento da demanda. Como consequência, a Itália teve que intensificar a importação de gás da Rússia e do norte da África, assim como importar eletricidade da França e da Suíça. Porém, com a promulgação das Diretivas 2003/54/EC e 2009/72/EC, a Itália intensificou o ritmo das reformas e a adoção de medidas de incentivo a fontes renováveis, dentre as quais (BUSNELLO, 2014; ITÁLIA, 2015a):

- i. A substituição progressiva do óleo (derivados de petróleo) por gás natural nas termelétricas e o desenvolvimento de um *backup system* a partir de usinas termelétricas e hidrelétricas flexíveis;
- ii. A forte inserção das energias renováveis na última década, que subiu de 24%, em 2004, para 39% do total da geração de energia elétrica na Itália em 2013, com a consequente redução do uso de combustíveis fósseis;
- iii. O aumento do emprego de fontes intermitentes, particularmente das fontes solar e eólica, com 21% do total instalado em 2013, contra pouco mais de 1% em 2004; e produção total de 13% em 2013, ante menos de 1% em 2004;

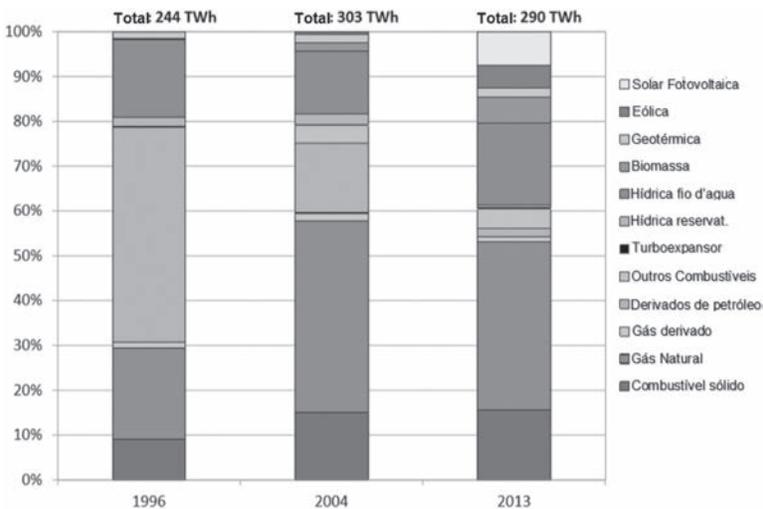
³ A Autoridade Regulatória para Eletricidade e Gás na Itália (AEEGSI), estabelecida pela Lei nº 481, de 14 de novembro de 1995, é uma entidade independente, cujo propósito é regular e controlar os setores de eletricidade e gás na Itália. Dentre suas atribuições estão a fixação de tarifas e a determinação das regras de despacho, definição do padrão de qualidade dos serviços prestados e das condições técnicas e econômicas de acesso e interligação das redes, garantindo a concorrência e protegendo os interesses de prestadores e consumidores (ITÁLIA, 2016).

- iv. O crescimento da geração distribuída, com instalação de plantas com capacidade inferior a 10 MW, responsáveis por 19% da capacidade instalada em 2013.

O documento *'Il Nuovo Mix di Produzione di Energia Elettrica'* (ITÁLIA, 2015a) aponta a existência de mecanismos de incentivos para energias renováveis. Trata-se de dispositivos tarifários, como o pagamento de um prêmio para energia fornecida para a rede. Essas políticas de incentivo tiveram como consequência, além do crescimento acentuado das fontes renováveis, especialmente da geração a partir de células fotovoltaicas, o encarecimento da tarifa de energia na Itália, que já era considerada uma das mais caras da Europa (BUSNELLO, 2014, CRISPIN *et al.* 2014).

O Gráfico 1 traz um comparativo do *mix* de geração de energia na Itália para os anos de 1996, 2004 e 2013. Em 1996, a geração termelétrica, principalmente a base de derivados de petróleo, era a tecnologia predominante. Posteriormente, a Itália intensificou o processo de substituição de derivados de petróleo por gás natural nas termoelétricas, tendo como resultado uma redução significativa da participação desse recurso em 2013. Além disso, o gráfico mostra que a principal mudança no panorama de geração foi a forte penetração de energias renováveis intermitentes, com crescimento da energia solar e eólica. Entre 1996 e 2004, a geração renovável total permaneceu no mesmo patamar, com produção bruta total de 19,0% e 18,4%, respectivamente. Já em 2013, a produção bruta total a partir de fontes renováveis chegou a 38,6% (ITÁLIA, 2015a).

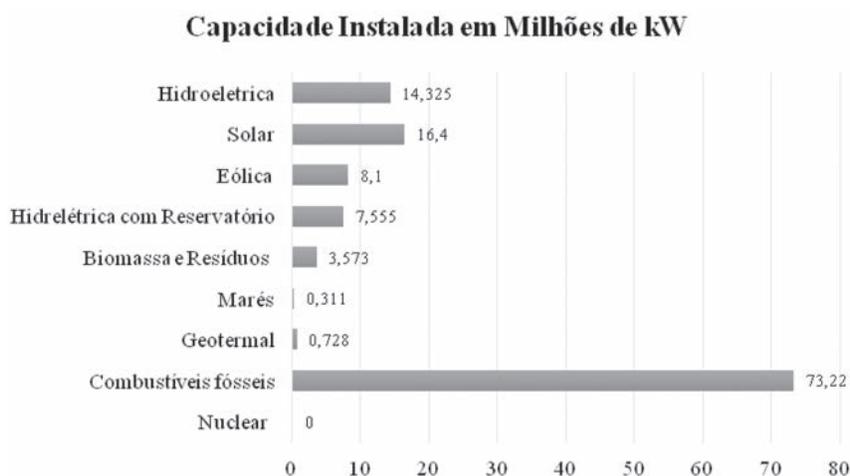
Gráfico 1 – Evolução do *Mix* de Geração de Energia Elétrica na Itália



Fonte: Adaptado de Itália (2015a).

O Gráfico 2 apresenta a capacidade instalada por fonte na Itália em 2012. Observa-se que a capacidade instalada de energia solar é a maior dentre as renováveis, consequência dos incentivos dados pelo governo italiano por meio das *feed-in tariffs*.

Gráfico 2 – Capacidade Instalada por Fonte em Milhões de kW - 2012

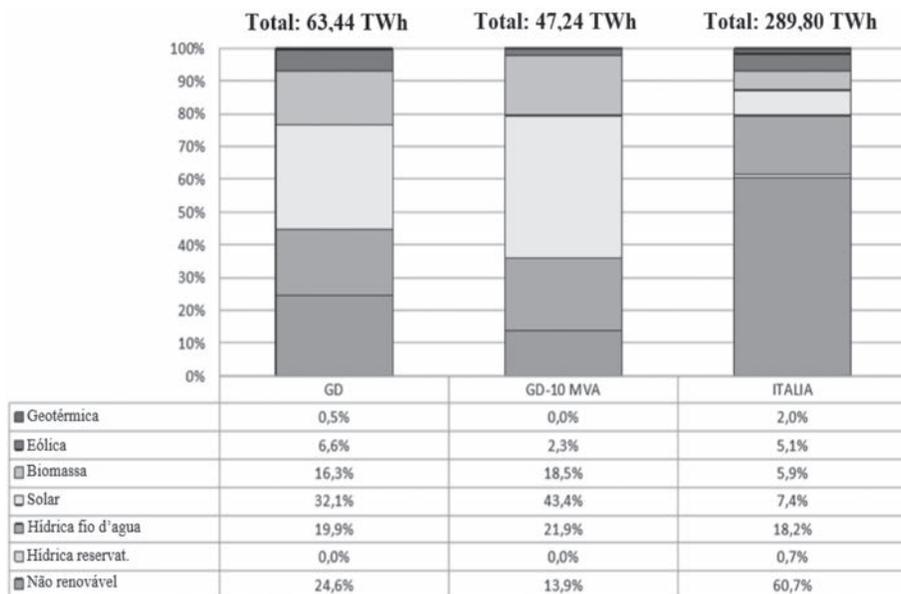


Fonte: Adaptado de EIA (2012).

Esta difusão de fontes renováveis esteve essencialmente baseada em projetos de geração distribuída⁴. O Gráfico 3 apresenta o *mix* de geração de energia no país em três níveis, para o ano de 2013: (i) a geração distribuída total, com 63 TWh (dos quais 24,5 TWh são provenientes dos parques eólicos e solar fotovoltaica); (ii) a geração distribuída com unidades menores que 10 MVA, com geração de 47,24 TWh (sendo 21,6 TWh de fontes eólica e solar fotovoltaica); e (iii) a geração total do parque italiano para o ano de 2013, com 289,80 TWh (ITÁLIA, 2015a).

⁴ Segundo a Diretiva 2009/72/EC, Geração Distribuída pode ser classificada como qualquer central de geração de energia elétrica ligada diretamente à rede de distribuição.

Gráfico 3 – Geração Distribuída Total (GD), Geração Distribuída (GD-10 MVA) e Geração Total em 2013



Fonte: Adaptado de Itália (2015a)

Em termos de rede, ocorreu a segmentação legal e funcional entre a transmissão e a distribuição. O segmento de transmissão é operado pela Terna⁵ (CANAZZA, 2014). Por sua vez, o segmento de distribuição conta com quatro empresas principais: a Enel Distribuzione, como a maior operadora, controla 86% do volume total; seguida pela A2A Reti Elettriche, com 4%; Acea Distribuzione comanda 3,4%; e a Aem Torino Distribuzione, com 1,3%. Os outros 5,3% do segmento estão divididos entre operadores que possuem apenas quotas marginais de participação no mercado (COPPO *et al.*, 2014).

No âmbito da regulação tarifária, desde 1999 a AEEGSI utiliza o modelo *price cap*⁶ com intervalo regulatório de quatro anos, ou seja, de quatro em

⁵ O Grupo Terna é o principal Transmission System Operator da rede de energia da Europa, controlando 98% da rede de transmissão italiana. Até 2005, a Terna foi controlada pela ENEL, mas desde então, é controlada pelo Governo Italiano (29%), investidores privados (42%) e varejo (27%), sendo regulada pela AEEGSI. O grupo administra 72.000 km de linhas de alta tensão (380 kV - 220 kV - 150 kV) (TERNA, 2016; BUSNELO, 2014)

⁶ É o mecanismo de tarifação que define um preço teto para a firma, corrigido de acordo com a evolução de um índice de preços ao consumidor, Retail Price Index (RPI), revisado anualmente, menos o percentual equivalente a um Fator X de produtividade, para um intervalo prefixado de anos. A metodologia forma a seguinte equação simplificada: $RPI - X$ (POLO *et al.*, 2014).

quatro anos ocorre o processo de revisão tarifária, sendo que no intervalo regulatório subsequente a empresa ainda detém 50% dos ganhos de produtividade. Em linhas com o processo de desverticalização da indústria, ressalta-se que os processos aplicados aos segmentos de transmissão e de distribuição são distintos. Mais do que isso, a partir de 2004 os Fatores X aplicados passaram a ser diferentes, vide as transformações prospectadas para o segmento de distribuição com a difusão de geração distribuída e de redes inteligentes. Explica-se: as especificidades tecnológicas e de ganhos de produtividade de cada segmento tornaram imperativa a utilização de Fatores X diferenciados (POLO *et al.*, 2014). Em contraste com a Tabela 1 que apresenta os parâmetros do primeiro período revisão tarifária e permite identificar Fatores X iguais para transmissão e distribuição, as Tabelas 2 e 3 apresentam, respectivamente, a evolução dos índices de reajuste das tarifas do sistema de transmissão e das distribuidoras nos ciclos subsequentes e permite identificar a diferenciação do Fator X após 2004.

Tabela 1 – *Price-cap* para o primeiro período regulatório – Serviços de Transmissão e Distribuição

| Ano | RPI ⁷ | Fator X | RPI-X |
|------|------------------|---------|-------|
| 2000 | 2,0% | 4,0% | -2,0% |
| 2001 | 2,1% | 4,0% | -1,9% |
| 2002 | 2,8% | 4,0% | -1,2% |
| 2003 | 2,5% | 4,0% | -1,5% |

Fonte: Adaptado de Polo *et al.* (2014).

Tabela 2 – *Price-cap* para o Serviço de Distribuição

| Ano | RPI | Fator-X | RPI-X |
|-------------------------------------|--------|---------|-------|
| Segundo período regulatório | | | |
| 2004 | 1,9% | 3,5% | -1,6% |
| 2005 | 2,2% | 3,5% | -1,3% |
| 2006 | 1,7% | 3,5% | -1,8% |
| 2007 | 3,0% | 3,5% | -0,5% |
| Terceiro período regulatório | | | |
| 2008 | 1,7% | 1,9% | -0,3% |
| 2009 | 2,4% | 1,9% | -0,6% |
| 2010 | 2,4% | 1,9% | 0,2% |
| 2011 | 0,809% | 1,9% | 1,3% |

⁷ RPI é a taxa de inflação, medida com base no índice de preços ao consumidor (POLO *et al.*, 2014).

| Quarto período regulatório (aplicada apenas aos custos operacionais) | | | |
|---|-------|------|-------|
| 2012 | 2% | 2,8% | -0,8% |
| 2013 | 3,07% | 2,8% | 0,3% |
| 2014 | 2,3% | 2,8% | -0,5% |

Fonte: Adaptado de Polo *et al.* (2014).

Tabela 3 – *Price-cap* para o Serviço de Transmissão

| Ano | RPI | Fator-X | RPI-X |
|-------------------------------------|------------|----------------|--------------|
| Segundo período regulatório | | | |
| 2004 | 1,9% | 2,5% | -0,6% |
| 2005 | 2,2% | 2,5% | -0,3% |
| 2006 | 1,7% | 2,5% | -0,8% |
| 2007 | 3,0% | 2,5% | 0,5% |
| Terceiro período regulatório | | | |
| 2008 | 1,7% | 2,3% | -0,7% |
| 2009 | 2,4% | 2,3% | -1,0% |
| 2010 | 2,4% | 2,3% | -0,2% |
| 2010 | 0,809% | 2,3% | 0,9% |
| Quarto período regulatório | | | |
| 2012 | 2% | 3% | -1,0% |
| 2013 | 3,07% | 3% | 0,1% |
| 2014 | 2,3% | 3% | -0,7% |

Fonte: Adaptado de Polo *et al.* (2014).

Com o desenvolvimento da geração distribuída, a conexão de geradores nas redes de média e baixa tensão chegou a 500 mil instalações em 2013. Isso acarretou responsabilidades e desafios adicionais para as distribuidoras. Dessa forma, a geração distribuída, especialmente por ser baseada em fontes intermitentes, contribui para aumentar a complexidade dos serviços prestados pelas distribuidoras. Assim, tem sido cada vez maior o fluxo em dois sentidos na rede de distribuição, com a presença de oferta e demanda de energia em um mesmo ponto, o que implica na necessidade de controle de mudança de sinal e manutenção das restrições de tensão e corrente (POLO *et al.*, 2014).

Além da questão tecnológica, a inadimplência de muitos consumidores também atuou como incentivo para que a Enel se dedicasse ao desenvolvimento e implantação de tecnologias voltadas para o melhor gerenciamento da rede. Com isso, a implantação de *smart meters* cumpriria esse papel, permitindo às

distribuidoras identificar e localizar consumidores inadimplentes. Somente em 2008, a Enel pôde identificar e gerenciar cerca de três milhões de consumidores inadimplentes (GIORDANO *et al.*, 2011).

Dentro desse contexto de constante evolução do mercado de energia, que se intensificou a partir da abertura e desverticalização do mercado no final da década de 1990, e com as alterações mais profundas no âmbito da geração, que alteraram profundamente a natureza da atuação das distribuidoras de energia, a Enel Distribuzione lançou em 2001 um projeto pioneiro de instalação de *smart meters*: o Telegestore. O projeto foi uma iniciativa voluntária da distribuidora, que se antecipou às ações do regulador, dando os primeiros passos para o longo processo de formação da *smart grid* na Itália. As motivações para que a Enel realizasse um investimento tão substancial na nova tecnologia, incluem o melhor gerenciamento da rede e ganhos de produtividade, com consequente aumento das receitas esperadas (IEA, 2009).

Todas essas mudanças abriram espaço para um debate público sobre o papel dos operadores de distribuição na Itália. Dessa forma, é preciso haver uma evolução do papel do distribuidor, para que ele possa assegurar a gestão ótima da rede, administrando a inserção cada vez maior de fontes renováveis intermitentes e geração distribuída.

Na próxima seção, será apresentado o processo de formação e desenvolvimento da *smart grid* italiana. Ainda, serão abordados os principais projetos implementados pela Enel, o marco regulatório e os principais projetos-piloto aprovados pela AEEGSI.

12.2 - *Smart Grid* na Itália

A integração gradual dos recursos renováveis e da geração distribuída, com plena inclusão de consumidores ativos, é uma tendência do mercado de energia elétrica e a Itália não consiste em uma exceção. Conforme é sabido, frente a todas as mudanças prospectadas para o setor elétrico, existe a necessidade de se fortalecer o sistema de eletricidade. Essa necessidade se impõe por meio do desenvolvimento de uma rede mais integrada e capaz de gerenciar com eficiência os fluxos de energia na rede. Nesse contexto, o desenvolvimento das *smart grids* na Itália é visto como essencial para lidar com essas mudanças estruturais e comportamentais, uma vez que muitas das quais já estão em curso. Em linhas gerais, são consideradas mudanças de grande importância (GIORDANO *et al.*, 2011):

- i. Integração segura de geração distribuída e das fontes renováveis intermitentes;

- ii. Consumidores com postura ativa, tanto pelo autogerenciamento do consumo, como pela capacidade de produzir energia;
- iii. Reconfiguração automática da rede para restaurar interrupções; e
- iv. Atendimento da demanda de energia de veículos elétricos.

A implantação de projetos-pilotos e de desenvolvimento é uma prática que não difere muito do que vem ocorrendo em outros países. Foi o pioneirismo da Enel, com o *roll out* de *smart meters*, por meio do Projeto Telegestore, que colocou a Itália na vanguarda da discussão acerca de redes inteligentes.

Em 2001, a Enel lançou a primeira fase do Projeto Telegestore, que consistiu na implantação-teste de *smart meters* para consumidores de baixa tensão, sendo instalados cerca de 32 milhões de dispositivos em unidades residenciais somente entre 2001 e 2006. A motivação da Enel para implementar o projeto teve como base a expectativa de redução de custos operacionais e sobretudo das perdas não técnicas relatados na seção anterior. Ressalta-se que a Enel adotou esta estratégia antes que houvesse qualquer regulamentação acerca da questão e, por consequência, sem o reconhecimento dos investimentos⁸. Para realizar o projeto, a Enel investiu cerca de € 2 bilhões⁹. Este investimento contemplou, não apenas a instalação dos *smart meters*, como também os investimentos na rede requeridos para o efetivo desenvolvimento de um sistema de medição inteligente (GIORDANO *et al.*, 2011; IEA, 2009).

Em linhas com a expectativa da Enel, os *smart meters* resultaram efetivamente em uma redução de € 500 milhões em gastos operacionais ao ano. Como consequência, o *payback period* foi de cinco anos, tendo sido fundamental o melhor monitoramento do universo de consumidores inadimplentes em 2008. De todo modo, ressalta-se que o resultado obtido pela Enel só foi possível pelas características regulatórias italianas. Explica-se: o fato de no segundo intervalo tarifário a distribuidora ainda ficar com 50% dos ganhos de produtividade foi decisivo para a viabilidade econômica do investimento.

Além da implementação do Telegestore, a Enel desenvolve uma série de projetos complementares, relacionados à criação de uma interface de comunicação entre o usuário (consumidor) e a rede. Por exemplo, em 2009 foi lançado o projeto Address e em 2010 o projeto stAMI (ST Advanced Meterin Interface),

8 Outra iniciativa que precedeu os atos regulamentares para *smart grid* na Itália foi realizada pela ACEA, companhia de distribuição de energia que atua em Roma e região metropolitana. A empresa atende aproximadamente 1,5 milhões de clientes, dos quais 10% estão na zona rural. Em 2004, a ACEA desenvolveu um projeto que visava à instalação de 40 mil *smart meters* entre dezembro de 2004 e novembro de 2005. Até o início de 2006, já haviam sido instalados cerca de 150 mil medidores, atendendo 10% da base de consumidores. Os investimentos foram da ordem de € 150 milhões, uma média de € 100 por cliente (IEA, 2009).

9 Equivale a um custo de € 70 por unidade consumidora.

ambos focados em soluções para comercialização e integração da matriz de eletricidade.

O projeto Address visa incitar o desenvolvimento de medidas de *demand response*, funcionando a partir da interação entre um *smart meter* (para fins de faturamento) e um dispositivo de gerenciamento de energia (*Energy Management Device*), que atuam como interface do consumo agregado. O projeto possibilita que os agentes interajam entre si, comprando e vendendo energia com flexibilidade. A rentabilidade do Address está associada à participação dos consumidores, um dos propósitos do projeto (GIORDANO *et al.*, 2011). Mais especificamente, o Address age como interface entre perfis de pequena carga e o mercado, cuja principal função é prover todo suporte de conexão e serviços, além de gerenciar todo fluxo de energia para os participantes do sistema elétrico (GIORDANO *et al.*, 2011).

Em contrapartida, o projeto stAMI consiste no desenvolvimento de um *software* especializado para captar o consumo em tempo real e com precisão, de dados armazenados nos *smart meters*, a fim de otimizar a rede. O objetivo do stAMI é criar uma interface de medição avançada, melhorando a qualidade do serviço e aumentando a eficiência da gestão da rede pelo processamento das informações fornecidas pelo AMM (Advanced Meter Management) (GIORDANO *et al.*, 2011).

Apesar dos projetos desenvolvidos sob a iniciativa empresarial, o regulador italiano reconheceu a necessidade de soluções inovadoras. Concomitantemente, existe um componente de incerteza relacionado aos resultados deste projeto, especialmente no âmbito da viabilidade financeira. Desta forma, foram realizados ajustes regulatórios, a fim de viabilizar o efetivo desenvolvimento das redes inteligentes, incluindo a formatação de novos modelos negócios. Com vistas a equacionar estes desafios, observa-se a implementação de um *framework* regulatório, o qual será examinado na próxima subseção.

12.3 - Regulação e Projetos-Piloto para *Smart Grid*

Após a iniciativa da Enel de implementação do projeto Telegestore, foi promulgada a Resolução nº 292/06 na Itália que torna obrigatória a instalação de *smart meters* para todos os consumidores residências e não residenciais conectados à rede de baixa voltagem. O decreto determinou ainda, que a substituição compulsória dos antigos medidores deveria começar em 2008, com duração prevista de quatro anos e envolveria todos os distribuidores do país. Em caso de não cumprimento das determinações, estava prevista a aplicação de multas por parte do regulador (IEA, 2009).

Por sua vez, através da Resolução ARG/elt 39/10, a AEEGSI estabeleceu os procedimentos e critérios de seleção de projetos-piloto destinados a promover o desenvolvimento das *smart grid*, por meio da instalação de equipamentos capazes de interagir, eficazmente, com os usuários da operadora em redes de média tensão, com particular referência às renováveis (ITÁLIA, 2015b). Destaca-se que, tanto a Enel, quanto a ACEA, foram instituições ativas na proposição dos projetos contemplados pela Resolução 39/10.

O objetivo desses projetos é avaliar, além de quesitos técnicos de funcionamento da rede, os impactos sobre a estrutura de custos das distribuidoras, promovendo a utilização ótima dos recursos, introdução de novos serviços, formação de mercados locais mais dinâmicos e integrados à rede nacional e incentivar a melhoria da gestão das fontes renováveis intermitentes. De acordo com a resolução, os projetos selecionados receberão uma remuneração sobre o custo de capital por 12 anos. Cabe destacar que, em 2014, os projetos ainda estavam sendo implantados (ITÁLIA, 2015b; COPPO *et al.* 2015). O entendimento do regulador é que a implementação de soluções de *smart grid* na rede de distribuição de energia elétrica é essencial no contexto de crescimento das energias renováveis intermitentes, para assegurar a gestão dos fluxos de energia e minimizar perdas que possam resultar em impactos financeiros negativos.

A demonstração de projetos-piloto representa um ponto crucial entre o laboratório e a produção industrial de equipamentos e implantação dos sistemas de *smart grid* em larga escala. A experiência obtida com esses projetos é valiosa para a implementação de sistemas reais, pois fornecem uma estimativa dos custos e da complexidade do gerenciamento na fase industrial, com *outputs* importantes para aprimoramento da regulação e dos modelos de gestão a serem seguidos (COPPO *et al.*, 2015).

Uma das principais preocupações do regulador foi com a definição de critérios uniformes para selecionar os projetos-piloto, uma vez que estes serviriam de base para implantação de um sistema de integração em todo território nacional e com a UE. Dessa forma, foram selecionados projetos que: (i) seriam testados em redes de média tensão, conectando usuários passivos (consumidores) e ativos (geração distribuída); (ii) contemplem reversão do fluxo de energia na rede, em pelo menos 1% do período de funcionamento da rede em um ano; (iii) a rede selecionada seja ser equipada com sistema de monitoramento em tempo real; e (iv) o protocolo de informação entre os sistemas dos diversos distribuidores seja padronizado (COPPO *et al.*, 2015).

A AEEGSI selecionou projetos de acordo com a coerência entre o projeto e os objetivos da reguladora para o desenvolvimento das *smart grids*, em especial na questão das energias renováveis e da geração distribuída. Nessa primeira fase, todos os projetos foram amparados pela Resolução AGR/elt 39/10. Foram escolhidos sete dentre oito projetos apresentados.

A Enel Distribuzione apresentou o projeto mais abrangente, em que combinou requisitos de gerenciamento de rede para conciliação técnica entre geração distribuída (com consumidores ativos – “*prosumers*”) e a presença de renováveis intermitentes. O projeto também instalou oito mil dispositivos “*Smart-Info*” para consumidores localizados em redes de baixa tensão. Esse dispositivo permite o gerenciamento em tempo real dos fluxos de energia, de modo que as próprias famílias podem gerenciar seu respectivo consumo, abrindo as portas do mercado de energia para esses consumidores. Finalmente, incluiu um sistema para carregamento de veículos elétricos, integrado a um sistema fotovoltaico presente em um estacionamento especial (COPPO *et al.*, 2015; ITALIA, 20015b). Um resultado preliminar observado pela Enel, após a instalação do kit *Smart-Info*, foi que 57% das famílias envolvidas no projeto mudaram seu comportamento quanto ao consumo de energia (GIORDANO *et al.*, 2011).

Por sua vez, o projeto apresentado pela ACEA tem o objetivo de desenvolver um protótipo real de *smart grid* que possa ser replicado em toda rede atendida pela *utility*. O protótipo fornece equipamentos de monitoramento, disponibilizando informações em tempo real sobre o funcionamento da rede, com a finalidade de melhorar a eficiência da rede e minimizar perdas técnicas e não técnicas (COPPO *et al.*, 2015; ITALIA, 20015b).

Já a DEVAL S.p.A.¹⁰ apresentou um projeto com o objetivo de reestruturar a rede de média tensão já existente. Para tanto, a DEVAL pretende implantar tecnologias que permitam operação ativa da rede, com particular atenção para padronização do processo, com respectiva redução de custos. A principal característica é a automação avançada da rede, com monitoramento em tempo real de geração distribuída (COPPO *et al.*, 2015).

Por sua vez, a A2A Reti Elettriche Spa¹¹ apresentou os projetos *Gavardo BS* e *Lambrate MI* que são projetos com objetivos semelhantes, variando a extensão de consumidores a serem atendidos. Foram implementados com o propósito de desenvolver um protótipo de *smart grid* para incentivar a ampliação da geração distribuída (com usuários ativos) e a inserção eficiente das energias renováveis. Em resumo, os projetos visam realizar a instalação de um sistema de controle, monitoramento e proteção em sua rede de atuação (sistema de automação avançado), com a finalidade de acomodar a nova capacidade de geração distribuída.

10 DEVAL S.p.A. é uma pequena *utility*, pertencente ao grupo CVA e localizada na região dos Alpes.

11 A2A Reti Elettriche Spa nasceu da fusão entre os grupos A2A, AEM Distribuzione Energia Elettrica S.p.A. e ASM Distribuzione Elettricità S.r.l. Está presente nas províncias de Milão e Brescia e em outros 59 municípios distribuídos pelo interior de Milão e na região do Lago de Garda e Valsabbia.

O projeto apresentado pelo A.S.SE.M. SpA¹² visou a reestruturação da rede de atuação da distribuidora, por meio da instalação e padronização de dispositivos que permitam a gestão ativa da rede, com o objetivo de minimizar custos. Por fim, o projeto da ASM Terni¹³ buscou desenvolver um modelo de rede que melhore a eficiência dos serviços de distribuição e transmissão, com aprimoramento da gestão dos fluxos de energia na rede. Acredita-se que o envolvimento direto do usuário (ativo, por meio da geração distribuída) pode melhorar a gestão da rede. Assim, o projeto objetiva uma maior penetração e integração da geração distribuída com os demais recursos da rede (ITÁLIA, 2015b).

É perceptível que os projetos apresentam muitas similaridades, apesar de terem sido desenvolvidos por empresas diferentes. Dessa forma, a instalação de *smart meters* foi uma pré-condição para a evolução dos projetos. No Quadro 1 é apresentado um resumo das funções contempladas por cada projeto. Observa-se que questões como fluxo bidirecional na rede de distribuição, monitoramento de geração distribuída em tempo real com fornecimento de dados para o sistema de transmissão, participação ativa dos usuários da rede regulada e a automação avançada estavam presentes em todos os projetos. Os protótipos para a construção de infraestrutura de recarga para veículos elétricos estiveram presentes em quatro projetos e estavam vinculados à geração distribuída e ao uso de fontes renováveis intermitentes, especialmente a fotovoltaica. O armazenamento de energia foi contemplado por apenas duas empresas. Não por acaso a Enel foi a empresa a apresentar o projeto mais abrangente, incluindo ferramentas de *demand response*. Provavelmente a experiência adquirida com Telegestore permitiu que a Enel desenvolvesse novas ferramentas, com maior abrangência, tanto do número de agentes atendidos, quanto do escopo do projeto.

12 A.S.SE.M. SpA foi criada pela Resolução do Conselho da Cidade de San Severino, em março de 1919, com o objetivo de produzir e distribuir energia elétrica. Atualmente, além de atuar no segmento de distribuição e iluminação pública do município, a empresa também atua no tratamento de água e distribuição de gás natural.

13 ASM Terni SpA é uma sociedade anônima que atende o município de Terni, com a prestação de serviços de utilidade pública locais. A empresa passou a ofertar serviço de distribuição de energia a todo município a partir de 2004, quando adquiriu a unidade de negócios sob gestão da Enel Distribuzione SpA.

Quadro 1 – Principais Funções Desenvolvidas pelos Agentes nos Projetos-Piloto de *Smart Grid*

| Função | ENEL | ACEA | A2A (1) e (2) | ASM Terni | A.S.SE.M. | DEVAL |
|---|------|------|---------------|-----------|-----------|-------|
| Fluxo bidirecional | X | X | X | X | X | X |
| Monitoramento da GD em tempo real, com fornecimento de dados para o TSO | X | X | X | X | X | X |
| Participação ativa dos usuários da rede regulada | X | X | X | X | X | X |
| Automação avançada | X | X | X | X | X | X |
| Armazenamento | X | X | | | | |
| Infraestrutura de recarga para veículos elétricos | X | X | | X | | X |
| Demand response | X | | | | | |

Fonte: Adaptado de Coppo *et al.* (2015).

Por sua vez, o Quadro 2 apresenta outros 17 projetos na área de *smart grid* dos quais a Itália participa direta ou indiretamente. Na coluna ‘Empresa Responsável’, está descrita a empresa responsável pela condução do projeto e o país de origem. Dentre os projetos listados nesse quadro, a Itália coordena uma parte, além de participar de projetos liderados por outros países. Os projetos listados foram desenvolvidos dentro da União Europeia e procuram desenvolver soluções de *smart grid*, com o objetivo de promover maior integração do mercado de eletricidade da Europa.

Quadro 2 – Projetos de *Smart Grid* na Itália

| | Projeto | Empresa Responsável | Breve Descrição | Data | Categoria |
|---|--------------------|---|---|-------------|----------------------------------|
| 1 | AFTER ¹ | RSE – Ficerca Sul Sistema Energetico (Italia) | Identificar vulnerabilidades na rede de energia, para adoção de planos de contingência, considerando o emprego de ferramentas de TI para proteção e controle da rede. | 2011 – 2014 | Automação da rede de transmissão |
| 2 | BeAware | Teknilline Korkeakoulu (Finlandia) | Estuda como comunicação wireless pode transformar consumidores residências em players mais ativos no controle de sua própria demanda de energia | 2010 – 2013 | Consumidor doméstico |

| | | | | | |
|----|-------------------------|---|---|-------------|---|
| 3 | BeyWatch | Telefonica Investigacion y Desarrollo AS, (Espanha) | Desenvolver um sistema soluções centrado no usuário, capaz de promover o monitoramento e controle da demanda de energia ao nível residencial. | 2008 – 2011 | Consumidor doméstico |
| 4 | DLC+VIT ₄ IP | Kema Nederland BV (Holanda) | Monitoramento da rede e do consumo de energia via internet. | 2010 – 2013 | Outros |
| 5 | E-mobility | Enel (Itália) e Daimler (Alemanha) | Planejamento na área de suprimento de energia para veículos elétricos. | 2008 – 2013 | Integração de sistemas |
| 6 | E-price | Eindhoven University of Technology (Holanda) | Depende da instalação de <i>Smart Meters</i> . Visa fornecer informações, incentivos financeiros e sinais de preço em tempo real, para auxiliar os players no gerenciamento da oferta e demanda de energia. | 2010 – 2013 | Automação das redes de distribuição e transmissão |
| 7 | ESTER ² | Enel (Itália) | Demonstração de tecnologias de armazenamento de energia | 2009 – 2013 | Armazenamento |
| 8 | EU-DEEP | GDF Suez (França) | Envolve as oito maiores <i>utilities</i> de energia da Europa e visa remover barreiras físicas e não-física para maior integração dos mercados de energia da Europa. | 2004 – 2009 | Integração de sistemas |
| 9 | G4V ³ | RWE (Alemanha) | Desenvolver um ferramental analítico para avaliar o impacto da introdução de infraestrutura em larga escala para veículos elétricos, a partir de 2020. | 2010 – 2011 | Outros |
| 10 | Grid4EU | ERDF (França) | Testar sistemas inovadores para melhorar a tecnologia e remover barreiras tecnológicas, econômicas, sociais, ambientais e regulatórias para o desenvolvimento das <i>smart grid</i> . | 2011 – 2012 | Integração de sistemas |
| 11 | ICOEUR | Technische Universitaet Dortmund (Alemanha) | Investigar o processo de <i>smart interconnection</i> entre países da Europa continental e Rússia | 2009 – 2011 | Automação da rede de transmissão |
| 12 | Internet of Energy | SINTTEF (Noruega) | Trabalha no desenvolvimento de hardwares, software, middleware e tecnologia wireless para monitoramento e conectividade das redes de energia. Vai usar a internet para ajudar nesse monitoramento. | ND | Integração de sistemas |

| | | | | | |
|----|----------------------|---|---|-------------------|-------------------------|
| 12 | MIRACLE ⁴ | SAP AG (Alemanha) | Melhorar a integração entre oferta e demanda, reduzindo o tempo de resposta às variações de cada lado do fluxo de energia, o que vai deixar a rede mais estável. | 2010 – 2013 | Integração dos sistemas |
| 12 | More Microgrids | ICCS/National Technical University of Athens (Grécia) | Pretende testar estratégias de interconexão de geração distribuída e centralizada, desenvolvendo um sistema que permita integração total entre geração e demanda de energia. | 2006 – 2009 | Integração dos sistemas |
| 13 | Open meter | Iberdrola (Espanha) | O principal objetivo é especificar um conjunto de ferramentas de padrão público de <i>Advanced Metering Infrastructure</i> (AMI) que possa dar suporte às múltiplas commodities (eletricidade, água, gás e calor), de acordo com os <i>stakeholders</i> mais relevantes da área. | 2009 – 2011 | Smart Meter e AMI |
| 14 | OPTIMATE | Technofi – (França) | Desenvolver uma plataforma de avaliação e análise para novos modelos de mercado de energia, integrando massivamente geração distribuída em diversas regiões e mercados de energia | 2009 – 2012 | Integração de sistemas |
| 15 | REALISEGRID | RSE (Itália) | Desenvolver um conjunto de métodos e ferramentas para avaliar como a infraestrutura de transmissão poderia ser otimizada e desenvolver um sistema de suporte confiável, competitivo e sustentável para a oferta de energia na União Europeia. | 2008 – 2011 | Outros |
| 16 | SUSPLAN | SINTEF ENERGIFORSDINING A/S (Noruega) | Visa melhorar a integração entre fontes renováveis de energia dentro do mercado de energia europeu (que está em formação). O projeto consiste em oferecer um guia com estratégias, recomendações e um benchmark para políticas, construção de infraestrutura e decisões de mercado e distribuição de energia com perspectivas para 2030-2050. | 2008 – 2011 | Outros |

| | | | | | |
|----|----------|--|---|-------------------|--------|
| 17 | WINDGRID | RED ELECTRICA DE SPANÃ, S.A. (Espanha) | Visa preparar a rede europeia para integraçã, com inserçã de usinas eólicas em larga escala | 2006 – 2009 | Outros |
|----|----------|--|---|-------------------|--------|

¹A Framework for electrical power systems vulnerability identification, defense and Restoration

²Enel integrated system for test on storage

³Grid for Vehicles

⁴Micro-Request-Based Aggregation, Forecasting and Scheduling of Energy Demand, Supply and Distribution

Fonte: Adaptado de Giordano *et al.* (2011).

Os projetos descritos no Quadro 2 foram implantados a partir de 2006 e estão em fase de teste. Assim, os projetos serão avaliados para verificar a validade do conjunto de tecnologias adotadas e a possibilidade de replicação do *design* de soluções. Com isso, espera-se que seja oferecida uma base de análise para que o regulador possa implementar um marco regulatório que obedeça às especificidades técnicas do sistema e incentive inovações em âmbito tecnológico e mercadológico, fundamentais para o desenvolvimento das *smart grid*. Com a maturação dos projetos e implantação dos sistemas em larga escala, haverá melhor gerenciamento do consumo por parte dos consumidores, controle de perdas não técnicas, aumento de eficiência e flexibilização do consumo/venda de energia, melhor gerenciamento da geração distribuída e da autoprodução.

Com o marco regulatório adotado pela AEEGSI, assim como as ações espontâneas da Enel e da ACEA, a Itália se encontra em franco processo de desenvolvimento das instalações e do *design* de mercado para a formação de um mercado de energia mais dinâmico e competitivo (IEA, 2009).

Conclusão

A adoção de tecnologias de *smart grid* na Itália obedece às tendências do mercado de energia da UE, com clara atinência às diretrizes relativas à agenda de sustentabilidade e formação de um mercado comum de energia. Para tanto, a Itália ofereceu incentivos à inserção das fontes renováveis, notadamente solar fotovoltaica e eólica, que corroboraram para o crescimento da geração distribuída no país.

No caso da Itália, as primeiras iniciativas no âmbito do desenvolvimento de tecnologias de *smart grid* começaram por ações voluntárias da distribuidora Enel, que instalou cerca de 32 milhões *smart meters* entre os anos de 2001 e 2006. As motivações para implantação da nova tecnologia foram apontadas como a necessidade de reduzir perdas não técnicas, melhorar a eficiência da

rede, incorporar fontes intermitentes e geração distribuída, além de preparar a rede para novos usos da eletricidade.

O *roll out* dos *smart meters* foi seguido pela atuação da AEEGSI, que definiu um marco regulatório de incentivo ao desenvolvimento de tecnologias de *smart grid* e pela adoção da metodologia tarifária *price-cap*, aplicada de maneira específica para transmissão e distribuição. O novo modelo de tarifação permitiu à distribuidora reter 50% dos ganhos de produtividade, o que foi fundamental para garantir a viabilidade econômica da instalação dos *smart meters*.

A partir de 2010, com o desenvolvimento de uma série de projetos-piloto, iniciou-se uma etapa de testes de novas tecnologias complementares à instalação dos *smart meters*. Esses projetos-piloto, ainda em andamento, testam tecnologias de serviços automação da rede, mecanismos de *demand response*, participação de consumidores ativos na rede, abastecimento de veículos elétricos e armazenamento. Dessa forma, o desafio para a Itália é dar continuidade ao projeto de expansão das tecnologias de *smart grid*, melhorando a eficiência da rede, ao mesmo tempo em que promove a integração com outros mercados da Europa.

Referências Bibliográficas

BUSNELLO, L. *The evolution of the Italian power sector after its liberalization*. 2014. Disponível em: http://tesi.cab.unipd.it/45191/1/Busnello_Luca.pdf. Acesso: setembro de 2015.

CANAZZA, Virginia. *Il mercato elettrico italiano: stato dell'arte e prospettive*. Pavia: Ref-e, 103 slides, color, 2014.

COPPO, M. et al. *The Italian smart grid pilot projects: Selection and assessment of the test beds for the regulation of smart electricity distribution*. *Electric Power Systems Research*, v. 120, p. 136-149, 2015.

CRISPIM, João et al. *Smart Grids in the EU with smart regulation: Experiences from the UK, Italy and Portugal*. *Utilities Policy*, v. 31, p. 85-93, 2014.

EIA. *International Energy Statistics*. Washington, 2012. Disponível em: <https://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=2&pid=alltypes&aid=7&cid=IT,&syid=2005&eyid=2012&unit=MK>. Acesso em: 13/03/2016

GIORDANO, Vincenzo et al. *Smart Grid projects in Europe: lessons learned and current developments*. 2011. Disponível em: <http://ses.jrc.ec.europa.eu/>

sites/ses/files/documents/smart_grid_projects_in_europe.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2016.

IEA (França). *Energy policies of IEA countries: Italy 2009 Review*. Paris: OECD/IEA, 2009.

ITÁLIA. Aeegsi. *Il Nuovo Mix Di Produzione Di Energia Elettrica: Stato Di Utilizzo E Di Integrazione Degli Impianti Di Produzione Alimentati Dalle Fonti Rinnovabili E Degli Impianti Di Cogenerazione Ad Alto Rendimento*. 2015a. Disponível em: <<http://www.autorita.energia.it/it/docs/15/308-15.htm>>. Acesso em: 25 jan. 2016.

ITÁLIA. Aeegsi. *The structure and role of the Italian Regulatory Authority for Electricity and Gas*. 2016. Disponível em: <<http://www.autorita.energia.it/it/inglese/about/presentazione.htm>>. Acesso em: 13 fev. 2016.

ITÁLIA. Aeegsi. *Progetti Pilota Smart Grid*. 2015b. Disponível em: <<http://www.autorita.energia.it/it/operatori/smartgrid.htm>>. Acesso em 12/03/2016.

ITÁLIA. Lei nº 1643, de 06 de dezembro de 1962. *Istituzione Dell'ente Nazionale Per La Energia Elettrica e Trasferimento Ad Esso Delle Imprese Esercenti Le Industrie Elettriche*. Roma, 1962. Disponível em: <http://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=1963-02-09&atto;.codiceRedazionale=063U0036&elenco30giorni=false>. Acesso em: 01 mar. 2016.

POLO, Michele et al. *La Regolazione Delle Reti Elettriche In Italia*. Milão: Iefe, 2014. 73 p. (Research Report n. 15). Disponível em: <<http://www.iefef.unibocconi.it>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

TERNA (Italia). *Sistema Elettrico*. 2016. Disponível em: <<http://www.terna.it/it-it/sistemaelettrico.aspx>>. Acesso em: 15 jan. 2016.

Organizadores

Nivalde José de Castro

Professor Doutor do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro -UFRJ desde 1975. Leciona disciplinas na graduação e pós-graduação sobre o setor elétrico. Coordenador do GESEL - Grupo de Estudos do Setor Elétrico- vinculado ao PPED –Programa de Pós Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento -, onde desenvolve pesquisas e estudos sobre inúmeros aspectos relacionados direta e indiretamente com o setor elétrico: análise do modelo de estruturação, matriz de energia elétrica, padrão de financiamento, processo de concentração, regulação, modelagem dos leilões de energia e de linhas de transmissão, equilíbrio econômico - financeiro das empresas do setor, linha de estudos sobre governança corporativa pública. Ao longo dos últimos anos, coordenou de pesquisas contratadas por grupos como Eletrobras, EDP, CSN, AES, Unica, Furnas, Itaipu Binacional, CPFL, ENEVA e ENERGISA.

Guilherme de Azevedo Dantas

Professor de Economia da Energia e de Economia Industrial. Doutor em Planejamento Energético pela COPPE/UFRJ onde atualmente realiza Pos-Doc. Possui Mestrado em Economia e Política da Energia e do Ambiente pela Universidade Técnica de Lisboa e Graduação em Economia pela UFRJ. Especialista em Economia Industrial, Economia da Regulação e Fontes Alternativas de Geração de Energia Elétrica. Além disso, realiza avaliação econômica do aproveitamento do bagaço e da palha da cana de açúcar para produção de biocombustíveis avançados e/ou plataformas químicas. Ao longo dos últimos anos, participou de pesquisas contratadas por grupos como EDP, CSN, AES, Unica, Eletrobras, Furnas, Itaipu Binacional, CPFL, ENEVA e ENERGISA, assim como, ministrou inúmeras palestras no Brasil e no exterior. É sócio da empresa de pesquisa e consultoria TECHNE-GESEL, Pesquisador Sênior do PPE/COPPE/UFRJ e Pesquisador Convidado do INESC/Coimbra.

Autores

Alexandre Santos

Membro do Conselho de Administração da ERSE- Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos desde junho de 2013 com os pelouros de supervisão dos setores da eletricidade e gás natural. Em 2014, foi eleito Vice-Presidente da MEDREG - Associação dos Reguladores de Energia do Mediterrâneo. Ele também preside ao Grupo de Trabalho sobre Consumidores no ARIAE - Associação Ibero-Americana dos Reguladores de Energia. Antes de ingressar na ERSE, Alexandre trabalhou no Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e da Energia como membro do Conselho de Administração do Fundo de Inovação e Eficiência Energética. Ele dedicou grande parte de sua carreira ao setor das TI e desenvolveu atividade como consultor nas áreas da eficiência energética e da energia. Ele também desenvolveu atividade de investigação no Centro Interdisciplinar de Lisboa para Estudos de Economia na área de política pública e começou sua carreira na gestão de risco no setor bancário. Alexandre possui um Mestrado em Comportamento Organizacional do Instituto Superior de Psicologia Aplicada de Lisboa e é licenciado em Economia pela Faculdade Universidade Católica de Lisboa of Business & Economics.

Ana Luiza Souza Mendes

Economista e possui mestrado em Economia. Já atuou nas áreas de docência acadêmica, consultoria empresarial para exportação e análise de viabilidade econômico financeira de projetos da construção. Atualmente, é aluna do Programa de Pós-Graduação em Economia da UFRJ (doutorado) e pesquisadora vinculada ao Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL), trabalhando com pesquisas sobre regulação do mercado de energia.

Andre Luis da Silva Leite

Possui graduação em Ciências Economicas pela Universidade Federal de Santa Catarina (1996), mestrado em Engenharia de Produção - Departamento de Engenharia de Produção (1998) e doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (2003). Concluiu em 2008 Pós-Doutorado em Economia pelo Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IE/UFRJ). Atualmente, é Professor Adjunto II no Departamento de Ciências da Administração da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

António Martins

Doutor em Engenharia Eletrotécnica, na Universidade de Coimbra (UC), no tema de Utilização Eficiente de Energia Elétrica, em 1985. Professor Catedrático da UC, foi Vice-Reitor entre 2003 e 2011, com responsabilidade por múltiplas áreas, incluindo a Pesquisa Científica. Diretor do Instituto de Investigação Interdisciplinar da UC, cuja refundação conduziu, entre 2008 e 2011. Participou em mais de vinte projetos de pesquisa, tendo liderado dezasseis. Co-fundador e Coordenador da Iniciativa da Universidade de Coimbra “Energia para a Sustentabilidade”, criada em 2007. Seus atuais interesses de pesquisa podem sintetizar-se em: Eficiência energética; Gestão da demanda de energia; Políticas para a transformação do mercado de energia para a eficiência; Planeamento energético para a sustentabilidade.

Caetano Penna

Pesquisador (pós-doutor) do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IE/UFRJ) e pesquisador associado da Science Policy Research Unit (SPRU), Universidade de Sussex (Reino Unido). Nos últimos dois anos, participou de projetos de pesquisa com a Professora Mariana Mazzucato (SPRU, University of Sussex), autora do livro “O Estado Empreendedor” (2014, Cia. das Letras), com quem desenvolveu o projeto de áudiovisual Rethinking the State e organizou a conferência Mission-Oriented Finance for Innovation, realizada no Parlamento Britânico. Suas mais recentes pesquisas com Mazzucato analisam o papel de instituições públicas no financiamento de inovações que contribuem para mitigar problemas sócio-ambientais. Atualmente presta consultoria ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) do Brasil, desenvolvendo um estudo sobre oportunidades e desafios para o aperfeiçoamento do sistema de inovação brasileiro. Seu doutorado em estudos de política de ciência e tecnologia pela Science Policy Research Unit analisou a dinâmica co-evolucionária entre desenvolvimento tecnológico, problemas sócio-ambientais, e regimes industriais. Ele é mestre em Governança Tecnológica pela Universidade de Tecnologia de Tallinn (Estônia).

Carlos Alberto Henggeler de Carvalho Antunes

Doutor em Engenharia Eletrotécnica (especialidade de Otimização e Teoria dos Sistemas) pela Universidade de Coimbra em 1992. É Professor Catedrático no Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, sendo atualmente Diretor

deste departamento e do Instituto de P&D INESC Coimbra. As suas áreas de interesse científico são a otimização multiobjectivo, a otimização com meta-heurísticas, a análise multicritério, os sistemas e políticas energéticas com enfoque na eficiência energética e resposta dinâmica da demanda de energia elétrica. Participou em cerca de três dezenas de projetos de P&D e de consultoria especializada a empresas. É autor de cerca de duas centenas de artigos científicos publicados em revistas, livros e atas de conferências internacionais.

Erika Celene Sánchez

Profissional em Economia da Universidade Nacional da Colômbia (2009). Foi pesquisadora associada do Grupo de Estudos do Setor Elétrico (2014-2016) e trabalhou na área de inovação do Observatório Colombiano de Ciência e Tecnologia durante o período 2011-2013. Com experiência em pesquisa focada em tópicos de inovação e indicadores de ciência e tecnologia, e recentemente em desenvolvimento tecnológico no setor de energia.

Gabriela Podcameni

Professora do Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ), pesquisadora da REDE-SIST - Rede de Pesquisa em Sistemas e Arranjos Produtivos e Inovativos Locais e pesquisadora associada do GEMA - Grupo de Economia do Meio Ambiente e desenvolvimento Sustentável. Graduada em Economia pela PUC-Rio (2005), mestre e doutora pelo Instituto de Economia da UFRJ (2008 e 2014). Trabalhou no FUNBIO- Fundo Brasileiro para a Biodiversidade como analista de projetos relacionados à sustentabilidade.

Hugo M.I. Pousinho

Mestre (2008) em Engenharia Eletromecânica e Doutor (2012) em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores pela Universidade da Beira Interior. Desde 2014, é Especialista na Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, na Direção de Infraestruturas e Redes, tendo desenvolvido a sua atividade maioritariamente no tema da qualidade de serviço técnica. Os seus tópicos de estudo relacionam-se com a investigação operacional, planeamento e operação de sistemas de energia, e integração de energias renováveis.

João Felipe Cury Marinho Mathias

Graduado em Economia (UFRJ), Mestre em Economia (UFRJ), Doutor em Economia (UFRJ). É professor associado do Instituto de Economia (desde 2007). Especialista em políticas públicas para sistemas sustentáveis de energia, sobretudo no âmbito de redes inteligentes de energia elétrica e do aproveitamento de resíduos para a produção de biogás. É pesquisador dos grupos de Bioeconomia e Grupo de Estudos do Setor Elétrico do Instituto de Economia da UFRJ.

Jorge Esteves

Diretor da Direção de Infraestruturas e Redes da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) desde 2004, com responsabilidades nos sectores elétrico e do gás natural. É Doutorado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores pelo Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa e é Professor Coordenador do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa do Instituto Politécnico de Lisboa. Tem desenvolvido trabalhos de pesquisa nos domínios da engenharia eletrotécnica, da energia e da regulação.

José Eduardo Cassiolato

Possui graduação em Economia pela Universidade de São Paulo (1972), mestrado em Economia pela Universidade de Sussex (1978), doutorado em Economia pela Universidade de Sussex (1992) e pós doutorado (Université Pierre Mendès-France (2000). Atualmente é professor associado 4 da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Coordenador da RedeSist, Diretor do Centro de Altos Estudos Brasil Século XXI e professor convidado - Université de Rennes I. Foi Secretário de Planejamento do Ministério da Ciência e Tecnologia (1985-1988), Diretor de Pesquisas do IE/UFRJ (2003-2005), Membro da Diretoria da SBPC (1999-2002), Presidente do comitê científico - Global Research Network on the Economics of Learning, Innovation and Competence Building Systems (2011-2014). Foi Pesquisador Visitante no MIT, University of Sussex e INRA-França. Tem experiência na área de Economia, com ênfase em Economia Industrial, atuando principalmente nos seguintes temas: inovação, tecnologia, sistemas de inovação, competitividade e indústria.

Laura Caufour

Possui Graduação em Administração/Economia na França e Mestrado em Políticas Públicas, Estratégia e Desenvolvimento pela UFRJ. Trabalhou quatro anos

na PSA-PEUGEOT CITROEN na França e no Brasil. É Pesquisadora Junior do GESEL/IE/UFRJ e participou de pesquisas contratadas por CPFL e EDP.

Lucca Zamboni

Concluiu graduação (2003) e Mestrado (2007) em Engenharia Elétrica pela Universidade Presbiteriana Mackenzie e Doutorado (2013) pela Universidade São Paulo - USP. Atuou como pesquisador na Cipoli Engenharia e Consultoria, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Bandeirante Energia S.A., Companhias Paulista e Piratininga de Força e Luz, Escelsa e Rio Grande Energia. É autor de capítulo de livro, artigos publicados em periódicos internacionais e em revistas nacionais e em anais de congressos. Atualmente é Gerente do Programa de Pesquisa & Desenvolvimento da EDP Bandeirante Energia S.A., Coordenador do GT_P&D ABRADÉE, Professor CEAR Mackenzie e Membro do IEEE.

Luís Dias

Luís Miguel Cândido Dias licenciou-se em Eng. Informática pela Fac. Ciências e Tecnologia da Univ. Coimbra em 1992 e obteve o Doutorado em Organização e Gestão de Empresas (especialidade de Ciências dos Sistemas nas Organizações) pela Universidade de Coimbra em 2001. Atualmente é Professor Auxiliar de nomeação definitiva da FEUC (Fac. Economia da Univ. Coimbra), na qual ingressou em 1992, no núcleo de Métodos Científicos de Gestão. Tem leccionado diversas disciplinas nas áreas da decisão, investigação operacional e informática. Os seus interesses de investigação centram-se na análise de decisão multicritério, na avaliação de desempenho, na decisão em grupo e negociação, nos sistemas de apoio à decisão e em aplicações na área da energia e do ambiente. Membro da Comissão de Coordenação e Gestão da iniciativa “Energia para a Sustentabilidade” da Universidade de Coimbra, com responsabilidades de co-coordenação dos cursos de Mestrado em Energia para a Sustentabilidade e de Doutorado em Sistemas Sustentáveis de Energia (programa MIT Portugal), desde 2007. Membro do Sustainable Energy Systems Educational Committee do Programa MIT Portugal desde 2008.

Maria Alice Espinola de Magalhães

Mestre em Engenharia de Produção pela COPPE-UFRJ, com graduação em Economia pela UFRJ. Egressa do Programa Prossiga/CNPq/MCT, atualmente coordena o desenvolvimento das bibliotecas virtuais do NUCA-IE/UFRJ e realiza estudos nas áreas de inclusão digital, alfabetização digital e cultura

informativa-digital na formação profissional. Como pesquisadora do Gesel, exerce a coordenação executiva das Bibliotecas Virtuais do Setor Elétrico. Ao longo dos últimos anos, participou de pesquisas contratadas por grupos como Eletrobras, CPFL, ENEVA e ENERGISA. É sócia da empresa de pesquisa e consultoria TECHNE-GESEL

Mayara Teodoro de Oliveira

Doutoranda em Administração CPGA- Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC na linha de pesquisa de Produção e desenvolvimento, com foco no setor elétrico e seus aspectos institucionais. Mestre em Administração CPGA - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Graduada em administração pela Universidade Federal da Grande Dourados - UFGC

Paola Dorado

Doutoranda em Engenharia Elétrica na Escola Politécnica da USP. Mestre em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento pelo Instituto de Economia da UFRJ. Graduada em economia pela PUC- La Paz, Bolívia. Paralelamente, desenvolve-se como pesquisadora do Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL) da UFRJ, possui sólida experiência e conhecimento do setor elétrico.

Patricia Pereira Silva

Licenciada em Organização e Gestão de Empresas e Doutora em Organização e Gestão de Empresas (especialidade de Finanças) pela Universidade de Coimbra. Atualmente é Professora na Faculdade Economia da Universidade Coimbra) onde tem leccionado diversas disciplinas nas áreas das finanças, contabilidade e mercados de energia. Os seus interesses de investigação centram-se na análise e avaliação de projectos de investimento, finanças, mercados de energia e em aplicações em sistemas sustentáveis de energia. Investigadora dono INESC - Coimbra e investigadora associada do GESEL/UFRJneiro (Brasil). Membro da International Association for Energy Economics (IAEE) e da Iniciativa Energia para a Sustentabilidade. Além disso, é docente do programa doutoral Sustainable Energy Systems do Programa MIT Portugal desde 2008.

Paulo Oliveira

Licenciou-se em Engenharia Eletrotécnica pela Universidade Técnica de Lisboa, em 1999, e concluiu um mestrado em investigação operacional em 2013 pela

mesma instituição. Trabalhou no operador da rede de transporte de eletricidade português (REN) e, desde 2001, no regulador de energia em Portugal (ERSE), nas áreas de tarifas de gás e eletricidade, medição de energia, eficiência energética e regulação económica em geral.

Pedro Roldão

Licenciado em 1983 em Eng. Electrotécnica e Mestrado em 1995 em Investigação Operacional, ambos pelo Instituto Superior Técnico. Na REN de 1987 a 2007, foi responsável pelo Dep. de Prog. de Exploração (otimização de curto e médio prazo, mercado diário e otimização do parque electroprodutor). Desde 2007 na ERSE como Consultor, segue o tema da Produção Renovável. Integra a Direção de Infraestruturas e Redes em 2014 onde é responsável pela área da Prospetiva do setor energético, que procura antecipar as consequências na regulação de possíveis alterações tecnológicas ou de paradigma.

Pedro Vardiero

Possui graduação em Ciências Econômicas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2014), com intercâmbio acadêmico realizado junto à Universidade do Porto (2012). Atualmente é aluno do curso de Pós Graduação em Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGE). Tem experiência na área de Economia do Setor Elétrico e atua como pesquisador associado do Grupo de Estudos do Setor Elétrico – GESEL nas áreas de redes inteligentes de energia elétrica e de regulação econômica de usinas termoelétricas.

Renata Lèbre La Rovere

Possui doutorado em Economia - Université de Paris VII , França (1990), foi professora visitante do Management and Information Systems Department da Universidade do Arizona, U.S.A. entre 1990 e 1992 e realizou um pós-doutorado sobre políticas de inovação no departamento de Administração de Empresas da Universidade de Rostock, Alemanha, entre 1995 e 1996. É professora do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro onde desenvolve pesquisas sobre pequenas e médias empresas, inovação e desenvolvimento local.

Ricardo Thielaman

Doutor em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento, pelo Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Mestre em Engenharia de

Produção pela COPPE da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Graduado em Administração de Empresas pela Universidade Federal de Juiz de Fora. É Professor do curso de Administração do Instituto de Ciências Humanas e Sociais de Volta Redonda, da Universidade Federal Fluminense. Tem experiência na área de Administração e Engenharia de Produção, com ênfase em Avaliação de Projetos, atuando principalmente nos seguintes temas: incubadoras de empresas de base tecnológica, empresas de base tecnológica, pequenas e micro empresas, excelência empresarial e inovação tecnológica e políticas públicas de ciência, tecnologia e inovação. Tem experiência na implementação de sistema de gestão baseados na NBR ISO 9001 e nos modelos de gestão pela excelência. Atua também na área de mapeamento e melhoria de processos empresariais.

Roberto de Carvalho Brandão

Economista com pós-graduação em economia, mestrado e doutorado em filosofia. É Pesquisador Sênior do GESEL/IE/UFRJ, área de concentração em finanças. Ministra cursos na área de finanças destinados ao setor elétrico e desenvolve pesquisas na área de regulação geração, transmissão de energia elétrica. Ao longo dos últimos anos, participou de pesquisas contratadas por grupos como EDP, CSN, AES, Unica, Eletrobras, Furnas, Itaipu Binacional, CPFL, ENEVA e ENERGISA. É sócio da empresa de pesquisa e consultoria TECHNE-GESEL.

Rubens Rosental

Economista formado na Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ possui mestrado em engenharia da produção na Coppe-UFRJ, pesquisador sênior nas áreas de Cenários Macroeconômicos, Governança Corporativa e Integração Energética. Ao longo dos últimos anos, participou de pesquisas contratadas por grupos como EDP, CSN, AES, Unica, Eletrobras, Furnas, Itaipu Binacional, CPFL, ENEVA e ENERGISA. É pesquisador da UFRJ, professor da Universidade Cândido Mendes e sócio da empresa de pesquisa e consultoria TECHNE-GESEL.

Sérgio Faias

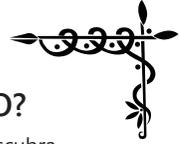
Doutor em Eng.^a Electrotécnica e de Computadores e mestre em Eng.^a Mecânica pelo Instituto Superior Técnico (IST), licenciado e bacharel em Eng.^a Electromecânica pelo Instituto Politécnico de Setúbal (IPS). É especialista na Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), professor no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) e investigador do Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Investigação e Desenvolvimento (INESC-ID).

Vítor Manuel Ferreira Marques

Doutor em Economia na especialidade de Desenvolvimento e Política Económica da Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra (FEUC). Mestre em Gestão e Estratégia Industrial pelo ISEG, UTL, grau obtido, por unanimidade, através da dissertação “Poder de Mercado e Regulação no Sector Eléctrico”. Licenciado em Economia pela FEUC. Diretor da direção de Custos e Proveitos (DCP) da ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos.

Vítor Santos

Presidente do Conselho de Administração da ERSE. Vítor Santos foi indigitado como Presidente do Conselho de Administração da ERSE- Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos em janeiro de 2007. É doutor em Economia pela Universidade Técnica de Lisboa e Professor Catedrático de Economia do Instituto Superior de Economia e Gestão da Universidade Técnica de Lisboa. Foi Professor Visitante na Universidade de Stanford, EUA. Anteriormente exerceu funções como Secretário de Estado da Indústria e da Energia do XIV Governo Constitucional (1999-2000), foi vice-presidente do IAPMEI – Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas (1999) e Presidente da Comissão Euro-Empresas do Ministério da Economia (1998-1999). Tem publicado livros e artigos sobre as temáticas da Regulação Económica, Organização Industrial e Economia do Ambiente e Recursos Naturais.



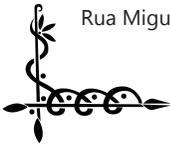
GOSTOU DO LIVRO?

acesse www.publit.com.br e descubra
ou encomende novos títulos de seu interesse.

QUER PUBLICAR O SEU?

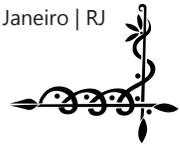
Conheça nossas soluções editoriais de publicação.
Qualidade, Rapidez e Baixo custo.

PUBLIT SOLUÇÕES
EDITORIAIS
Prazer em Publicar



Rua Miguel Lemos, 41 - salas: 711 e 712 - Copacabana - Rio de Janeiro | RJ

email: editor@publit.com | 21 2525 3936





I SEN 978-85-7773-939-4



9 788577 739394 >