

# GESEL

Grupo de Estudos do Setor Elétrico

UFRJ

## **Perspectivas para o desenvolvimento da Mobilidade Elétrica no Brasil**

Nivalde de Castro  
Camila Ludovique  
Matheus Guerra  
Lillian Monteath  
Luiza Masseno  
André Alves  
Bianca Castro  
Luiz M. Osório  
Arthur Tavares Poço  
Daniel V. Ferreira

# **TDSE**

## **Texto de Discussão do Setor Elétrico**

### **Nº 98**

março de 2021  
Rio de Janeiro



## **TDSE**

**Texto de Discussão do Setor Elétrico N° 98**

# **Perspectivas para o desenvolvimento da Mobilidade Elétrica no Brasil**

Nivalde de Castro  
Camila Ludovique  
Matheus Guerra  
Lillian Monteath  
Luiza Masseno  
André Alves  
Bianca Castro  
Luiz M. Osório  
Arthur Tavares Poço  
Daniel V. Ferreira

ISBN: 978-65-86614-22-0

Março de 2021

# SUMÁRIO

<b>Introdução</b>	<b>3</b>
<b>1. O processo de difusão das tecnologias</b>	<b>6</b>
1.1. Teoria da difusão	6
1.2. O modelo de difusão de Bass	16
1.2.1. Definição do modelo	16
1.2.2. Efeitos dos parâmetros	18
1.2.3. Dados para a estimativa dos parâmetros	20
<b>2. Cenários de difusão de Veículos Elétricos no Brasil</b>	<b>21</b>
2.1. Premissas do modelo	21
2.2. Evolução da frota de Veículos Elétricos	24
<b>3. Considerações finais</b>	<b>28</b>
<b>Referências</b>	<b>30</b>

## Introdução

O setor de transportes mundial enfrenta um processo de mudanças vinculadas diretamente ao processo de transição energética e impulsionadas por inovações tecnológicas disruptivas, que irão revolucionar a mobilidade urbana. O relatório da IRENA (2020) *Global Renewables Outlook*, que analisa as principais transformações energéticas mundiais de longo prazo, dá forte ênfase à eletrificação de consumos finais como contraparte da crescente participação de fontes de energia renovável na geração de energia elétrica.

Esta tendência é chave e determinante para se atingir as metas de descarbonização de atividades econômicas poluidoras, propugnadas pelos acordos internacionais e executadas pelas políticas nacionais. Um destaque é dado, sobretudo, para o setor de transportes, em função de sua expressiva participação nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) em escala mundial.

Durante as últimas décadas do Século XX, o setor de transportes se manteve subordinado a parâmetros de um paradigma consolidado e maduro. Por exemplo, os modelos de negócio da indústria automobilística seguiram centrados na propriedade de automóveis e na ampliação da infraestrutura produtiva para atender a expansão do mercado. Esta indústria, estruturada em oligopólio mundial, se desenvolveu até fins do Século XX com foco em inovações tecnológicas para aumentar o conforto, a segurança e o desempenho dos carros, mantendo-se praticamente inalterados os conceitos básicos dos meios de transporte e o tipo de infraestrutura necessária (PWC, 2020).

A partir do Século XXI, porém, inovações tecnológicas estão alterando o setor de transportes, tendo como elemento dinâmico e disruptivo os veículos elétricos (VEs), em decorrência das preocupações e da maior consciência da sociedade com a sustentabilidade ambiental. Nesta direção, diversos países vêm incentivando, de forma gradativa e mediante instrumentos de políticas públicas diferenciados e criativos, a difusão desta nova tecnologia disruptiva do setor de transportes. Pode-se identificar, neste processo, três principais motivações:

- i. O cumprimento das metas de redução de GEE;
- ii. Reforço em relação à segurança energética, com redução do consumo e importação de recursos não renováveis; e
- iii. Busca de posicionamento das empresas na reestruturação do oligopólio da indústria automobilística mundial.

Estas três motivações, que atuam como fortes e consistentes *drivers*, estão determinando um crescimento exponencial da difusão dos VEs nos últimos anos (IEA, 2020), o qual deve se manter pelas próximas décadas.

Neste sentido, o objetivo deste estudo é examinar, em termos de perspectivas, possíveis trajetórias de evolução da mobilidade elétrica no Brasil, buscando contribuir para o aprimoramento do planejamento, tendo o Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050), publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em dezembro de 2020, como um marco analítico importante.

Desta forma, o presente estudo pretende contribuir para ampliar a percepção sobre a trajetória dos VE, frente ao dinamismo da transição energética, notadamente com os impactos derivados da pandemia, tornando-se assim relevante analisar alternativas complementares de novos cenários em relação ao PNE 2050, dada a importância que o setor de transporte tem para a economia brasileira.

Adota-se, como elemento de enquadramento analítico, a premissa de que a velocidade de difusão da mobilidade elétrica define os impactos no sistema de transporte e de abastecimento energético, de forma que a análise deste processo é fundamental para a formulação de políticas adequadas e de modelos de negócio para apoiar a dinâmica das transformações deste setor.

Com base neste contexto mais geral, o estudo está estruturado em três seções, além desta introdução de contextualização. A primeira seção sistematiza um referencial teórico, baseado em três conceitos e modelos analíticos de difusão das tecnologias, para quantificar a velocidade de difusão dos VEs. A segunda seção aplica o instrumental teórico para construir cenários de adoção de VEs no Brasil e, por fim, na terceira seção, de caráter conclusivo, são apontadas as considerações finais e algumas recomendações de caráter mais geral.

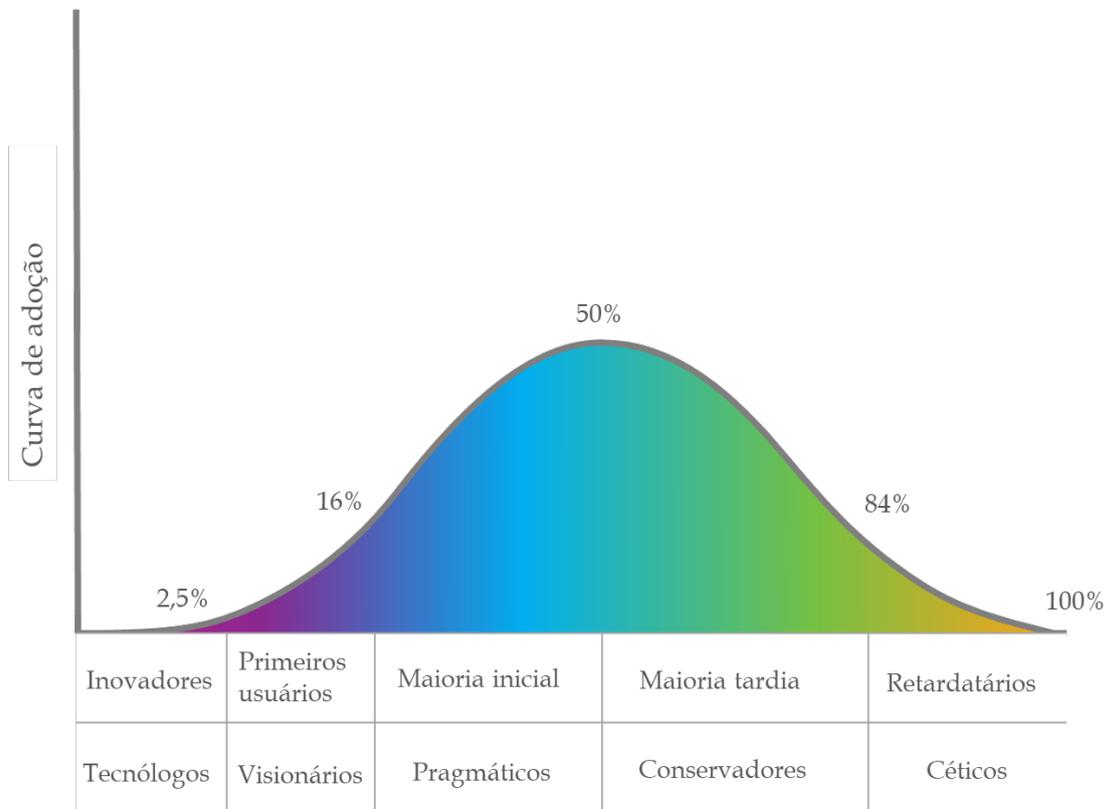
# **1. O processo de difusão das tecnologias**

O objetivo desta seção é apresentar a base teórica dos modelos de difusão tecnológica. Neste sentido, é exposto os fundamentos teóricos, tendo como referência a perspectiva neoclássica centrada na teoria da difusão. Também é descrito o modelo matemático proposto por Bass (1969) para quantificar o processo de difusão, enfatizando os principais parâmetros, interpretação, fonte de dados e ressalvas metodológicas.

## **1.1. Teoria da difusão**

A teoria da difusão analisa o processo de avanço de uma nova tecnologia em um sistema socioeconômico. De acordo com Rogers (1962), um dos principais autores da teoria, pode-se dividir o processo de difusão através do ciclo de adoção entre os consumidores potenciais de determinada tecnologia. Deste modo, a teoria divide os consumidores em cinco categorias, agrupadas pelas características comportamentais de cada grupo, conforme ilustrado no Gráfico 1. Segundo Rogers (1962), as pessoas tendem a adotar novas tecnologias em taxas variáveis e a velocidade relativa de adoção pode ser traçada como uma distribuição normal, com o principal diferenciador sendo a disposição psicológica dos indivíduos para novas ideias.

**Gráfico 1: Perfil de adoção dos consumidores e características comportamentais**



Fonte: Roger, 1962.

Para Rogers (1962), a descrição das características comportamentais de cada grupo e a dinâmica de difusão ocorre segundo esta esquematização:

- i) **Inovadores** estão dispostos a assumir riscos e têm o mais alto status social, capacidade financeira e interação com outros inovadores. Sua tolerância ao maior risco permite que adotem tecnologias que podem falhar, mas seus recursos financeiros ajudam a absorver essas falhas. Geralmente, são os primeiros a adquirem novas tecnologias e representam cerca de 2,5% do mercado potencial dos novos produtos;

- ii) **Primeiros usuários** têm um status social mais elevado, condição financeira elevada e educação avançada. Eles são mais criteriosos nas escolhas de compra do que o grupo dos inovadores e usam a escolha de adoção para ajudá-los a manter uma posição central. Geralmente, são influenciados pelos inovadores e representam cerca de 13,5% do mercado potencial;
- iii) **Maioria inicial** adota a nova tecnologia após um período variável, que é significativamente mais longo do que os inovadores e os primeiros usuários. Eles têm status social acima da média, contato com os primeiros usuários e raramente ocupam posições de liderança de opinião em um sistema. Geralmente, este grupo de consumidores adquire a tecnologia após ela atingir o período de maturidade, no qual os benefícios já estão comprovados pela maioria inicial dos consumidores e o preço de aquisição está em queda, representando cerca de 34% do mercado potencial;
- iv) **Maioria tardia** adota a nova tecnologia depois dos grupos anteriores. Esses indivíduos abordam uma inovação com alto grau de ceticismo e a adquirem após a maioria da sociedade já ter adotado a nova tecnologia. Eles, normalmente, têm status social abaixo da média, têm pouca capacidade financeira, estão em contato com outras pessoas do grupo maioria tardia e têm pouca liderança de opinião. Este grupo representa cerca de 34% do mercado potencial; e
- v) **Retardatários** são os últimos a adotar novas tecnologias. Esses indivíduos normalmente têm aversão à mudança. Eles tendem a se concentrar em "tradições", têm o status social e a liquidez financeira mais baixos, são os mais velhos entre os adotantes e tendem a estar em contato apenas com a família e amigos próximos, podendo representar cerca de 16% do mercado potencial.

**Box 1: Como utilizar a curva de adoção de Rogers para identificar o perfil dos consumidores de VEs e estratégias para cada fase do negócio?**

A dinâmica generalizada apresentada por Rogers (1962) pode ser utilizada para identificar os consumidores potenciais de VEs, tanto do segmento de passageiros quanto de cargas. De modo geral, observa-se que, para acelerar o processo de difusão dos VEs e da infraestrutura de recarga, é preciso selecionar grupos específicos de consumidores para cada fase de desenvolvimento do negócio. Provas de conceito em nichos em que os VEs já são economicamente viáveis devem ser incentivadas para que o conhecimento sobre a tecnologia se propague de forma mais rápida pelo tecido social.

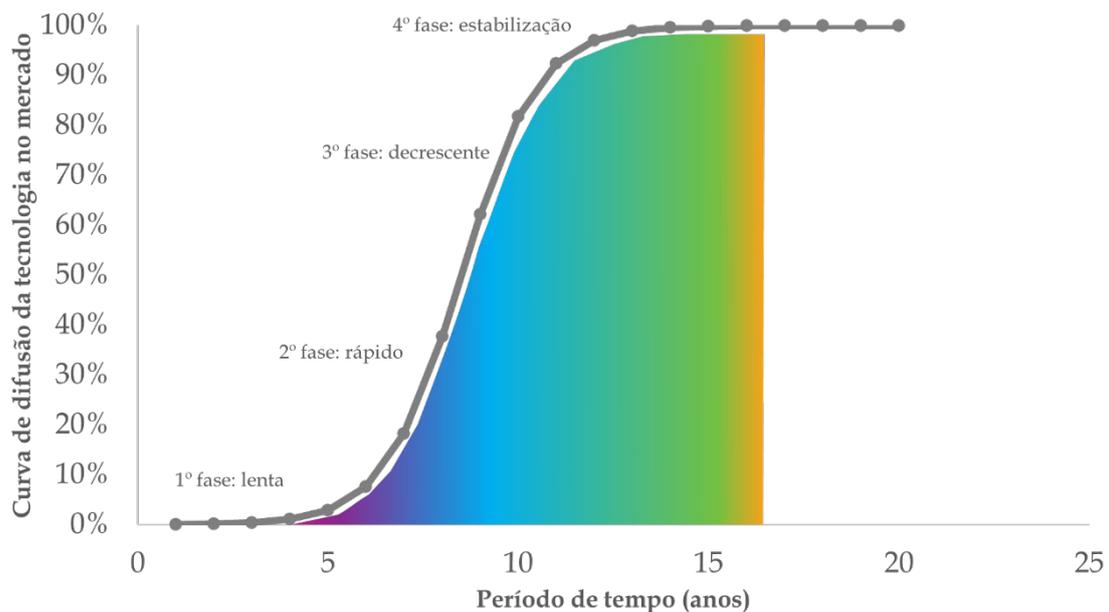
Perfil de adoção	Perfil do consumidor	Perfil empresarial
Inovadores	Pessoas com alto poder aquisitivo, adquirem veículos como <i>hobby</i> e buscam diferenciação.	Empresas inovadoras com recursos disponíveis para testarem novas tecnologias.
Primeiros usuários	Pessoas com alto poder aquisitivo, geralmente trabalham ou conhecem os benefícios da tecnologia.	Empresas de grande-médio porte interessadas em soluções mais eficientes do ponto de vista econômico e ambiental.
Maioria inicial	Pessoas da classe média alta, conhecem os benefícios da tecnologia pela convivência com os primeiros usuários.	Empresas que acreditam que a tecnologia pode ser economicamente viável para o seu tipo de negócio.
Maioria tardia	Pessoas da classe média, com contato com usuários da maioria inicial que possuem renda suficiente para investir em um VE.	Empresas que já tem confiança absoluta nos benefícios dos VEs para o seu negócio.
Retardatários	Pessoas de todas as classes, que por interesses culturais preferem veículos à combustão interna e	Empresas de nichos específicos, nos quais a escolha econômica dos VEs

Além de conhecer a dinâmica e o perfil do consumidor, a literatura sobre difusão de inovações também busca explicar o processo de inovação através da taxa de difusão de uma nova tecnologia, ou seja, pelo número de membros de um sistema social que adota um produto específico em um período de tempo. Assim, a teoria da difusão está também interessada em estimar a velocidade de propagação de uma determinada tecnologia no tempo (BROWN, 1992).

Neste caso, por se tratar de um crescimento cumulativo, curvas em forma de S são utilizadas para descrever o desenvolvimento do mercado, caracterizado por

quatro fases distintas. O Gráfico 2 apresenta um exemplo teórico de curvas em S, no qual se assume que a tecnologia pode atingir de 0 a 100% do mercado.

**Gráfico 2: Curvas de difusão ou curvas em S e a dinâmica de difusão tecnológica**



Fonte: Elaboração própria, baseado em BROWN, 1992.

Como pode-se constatar no Gráfico 2, a dinâmica do processo de difusão de uma nova tecnologia começa de maneira gradual e, à medida que mais pessoas adotam a nova tecnologia, a inclinação da taxa de difusão aumenta, ou seja, a tecnologia passa a se difundir mais rapidamente. Depois do ponto de pico de difusão, a velocidade diminui à medida que o mercado se aproxima de seu potencial total. Desta forma, cada fase atrai um tipo diferente de consumidor, com características comportamentais distintas, que decide pela compra em momentos diferentes do processo de difusão (BROWN, 1992).

De uma maneira geral, cada tecnologia possui um padrão de difusão particular, em função de suas características intrínsecas. Algumas se difundem da introdução ao uso generalizado em um curto período de tempo, enquanto outras podem demorar muitos anos até atingirem a grande parcela populacional, ou

podem ainda ficar restritas a nichos específicos de usuários. O telefone, por exemplo, levou 75 anos para atingir 50 milhões de usuários, enquanto que o rádio precisou de 38 anos e os aparelhos de TV somente 13 anos (AEPPEL, 2016).

No caso específico dos VEs, esta tecnologia foi consolidada há mais de 100 anos, mas não conseguiu se contrapor à competição dos veículos à combustão, em razão da baixa autonomia, do carregamento lento, da insuficiente rede de carregamento e do alto custo das baterias.

No entanto, a nova consciência social em relação à sustentabilidade ambiental e os avanços tecnológicos recentes tornam os VEs uma alternativa viável aos veículos de combustão interna para alguns nichos de consumidores, apresentando maior competitividade, aceitação e difusão entre os usuários. Esta assertiva pode ser comprovada pelo aumento do estoque de VEs, que, nos últimos 10 anos, atingiu 7,2 milhões de novos usuários (IEA, 2020). Na experiência da Noruega, país com políticas de estímulo muito fortes para VEs, cada veículo deste tipo comprado influenciou a compra de três outros (BU, 2016).

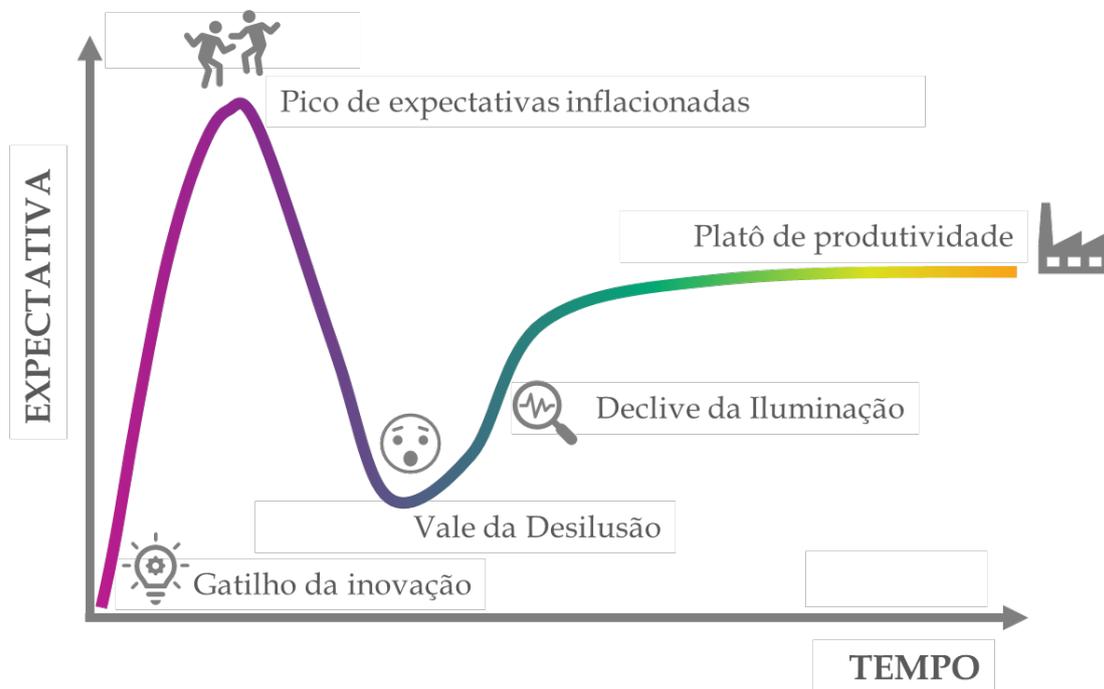
Este ciclo de contágio entre o grupo dos inovadores (ver Box 1) criou, nos últimos anos, o que é conhecido na literatura como “um *hype* tecnológico sobre os VEs”, ou seja, uma alta expectativa de difusão da tecnologia entre os consumidores. Entretanto, como será analisado a seguir, o segundo estágio de adoção para os VEs apresenta incertezas, devido ao que se denomina por “abismo tecnológico”.<sup>1</sup> Todo processo de difusão de uma nova tecnologia enfrenta este dilema, que reside basicamente na fase de passagem, de transmissão das duas primeiras classes de consumidores – inovadores e primeiros usuários – para a grande maioria da população (FINEP, 2019).

---

<sup>1</sup> Tecnologias que caem no abismo tecnológico ou “vale da morte” são caracterizadas por passarem por todas as fases de testes e pesquisas e não conseguirem atingir a escala de produção necessária para a sua difusão em massa. São tecnologias caras que atendem uma pequena parcela da população, ficando restrita ao atendimento de nichos específicos.

Para explicar por que algumas tecnologias atingem a difusão plena, enquanto outras ficam restritas a nichos, foi desenvolvida uma metodologia denominada Ciclo Hype (TCA, 2020). Esta metodologia utiliza um gráfico, como exemplificado pelo Gráfico 3, para oferecer uma visão de como a expectativa de uma tecnologia tende a evoluir ao longo do tempo. A metodologia também auxilia a entender como as tecnologias se inserem no contexto da indústria e seu nível de risco.

**Gráfico 3: Ciclo Hype das tecnologias**



Fonte: Elaboração própria, baseado em Gartner (2020).

O Ciclo Hype está dividido nas cinco fases do ciclo de vida de uma tecnologia, definidos a seguir.

- i. **Gatilho da inovação:** é onde tudo começa, a partir do desenvolvimento de uma inovação tecnológica. As primeiras provas de conceito e o interesse

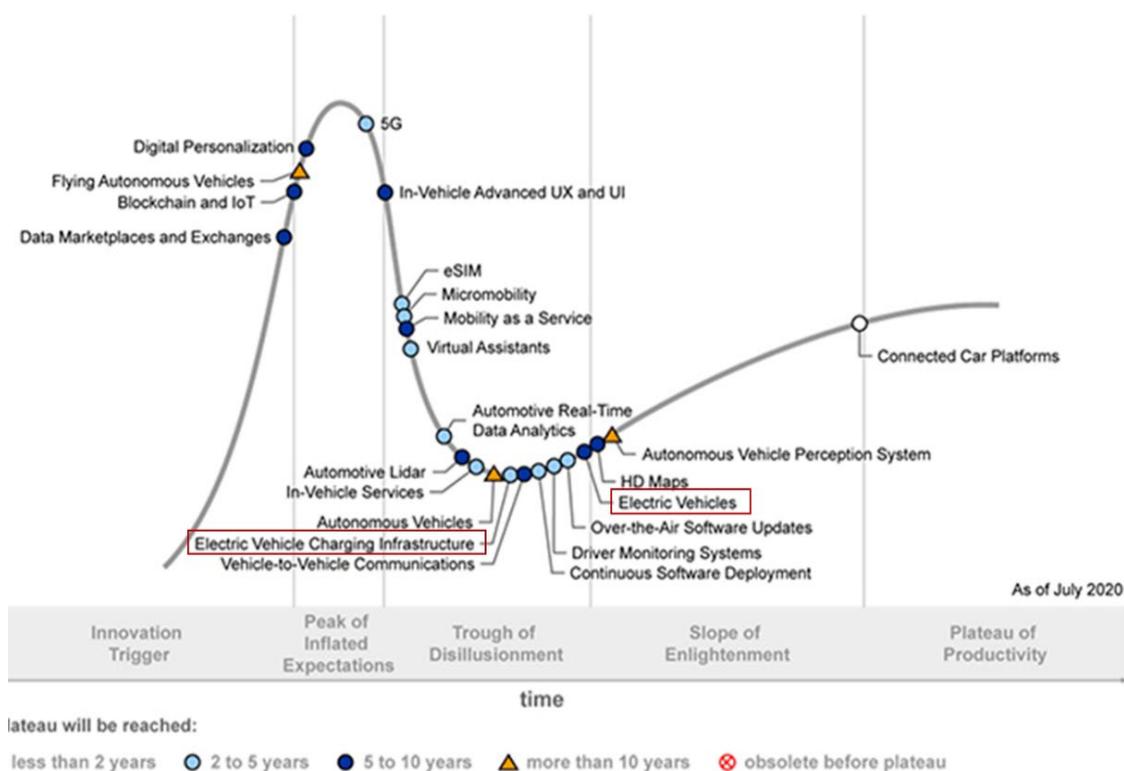
da mídia geram publicidade significativa. Frequentemente, não existem produtos utilizáveis e a viabilidade comercial não foi comprovada.

- ii. **Pico de expectativas inflacionadas:** a publicidade precoce produz uma série de histórias de sucesso, frequentemente acompanhadas por dezenas de fracassos. Algumas empresas agem, porém muitas não.
- iii. **Vale da Desilusão:** o interesse diminui à medida que os experimentos e as implementações falham. Os produtores da tecnologia se abalam ou desistem. Os investimentos continuam apenas se os fornecedores sobreviventes melhorarem seus produtos para a satisfação dos primeiros usuários.
- iv. **Declive da Iluminação:** novos exemplos de como a tecnologia pode beneficiar as empresas começam a se cristalizar e se tornar mais amplamente compreendidos. Os produtos de segunda e terceira geração são oferecidos por fornecedores de tecnologia. Mais empresas financiam pilotos, enquanto empresas conservadoras permanecem cautelosas.
- v. **Platô de produtividade:** a adoção convencional começa a decolar. Os critérios para avaliar a viabilidade do provedor são mais claramente definidos. A ampla aplicabilidade e relevância da tecnologia no mercado estão claramente compensando.

## Box 2: Onde estão os VEs e a infraestrutura de recarga no Ciclo Hype das tecnologias emergentes do setor de transportes?

De acordo com o *Hype Cycle* anual da Gartner (2020), que se tornou uma métrica da maturidade e da viabilidade de mercado de várias tecnologias relacionadas às novas tendências na mobilidade, a pandemia trouxe um atraso em toda a cadeia de desenvolvimento de tecnologias. Entretanto, o horizonte de longo prazo é promissor. Segundo os analistas, “os VEs e a infraestrutura de recarga estão no fundo [da desilusão], o que significa que o trabalho árduo de comercializar as tecnologias está em andamento”. Ainda segundo os analistas, “nos próximos cinco anos ou mais, se os VEs conseguirem ganhar escala e reduzir custos, se tornarão parte do ecossistema automotivo e da mobilidade inteligente”.

Gráfico 5: Ciclo Hype de tecnologias aplicadas no segmento de transporte



Fonte: Gartner (2020).

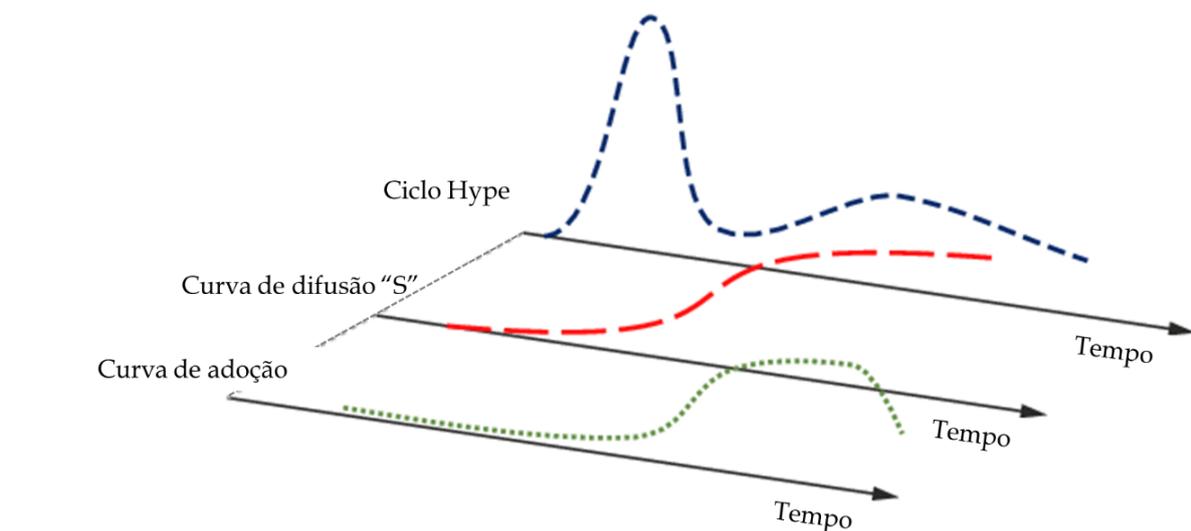
Obs.: De acordo com o estudo, os VEs irão atingir o platô de produção entre 5 e 10 anos.

Merece ser destacado que, com base nos três conceitos até aqui definidos - curva de adoção, curva de difusão no mercado e Ciclo Hype -, é possível entender e construir uma perspectiva de como as tecnologias se propagam pelo sistema socioeconômico ao longo do tempo.

O Gráfico 4 ilustra a interrelação destas três abordagens conceituais. Inicialmente, as novas tecnologias circulam apenas em nichos de inovação, apresentando uma baixa penetração no mercado e uma alta expectativa em relação ao seu potencial de difusão. Com o passar do tempo, a alta expectativa não se concretiza, alguns fornecedores importantes saem do mercado e alguns poucos continuam a amadurecer a tecnologia. A tecnologia, nesta fase, pode ficar restrita a nichos específicos ou prosseguir no processo de difusão.

No entanto, para atingir a difusão plena, a tecnologia deve ganhar escala para reduzir custos, de modo que passe a circular entre a maioria inicial. A partir desta fase, o processo de difusão ganha *momentum*, com o aumento na participação de vendas e de mercado. Novos usuários entram em contato com a tecnologia devido ao convívio com a maioria inicial e a redução progressiva dos preços permite que a maioria tardia, caracterizada por um baixo poder aquisitivo, possa adquirir o produto. Por fim, é esperado que estas taxas diminuam em razão da introdução de um novo ciclo de difusão tecnológica.

**Gráfico 4: Integração dos três conceitos curva de adoção, difusão e Ciclo Hype**



Fonte: Gkoumas, 2019.

## 1.2. O modelo de difusão de Bass

Modelos matemáticos são úteis para quantificar o processo de difusão de novas tecnologias, particularmente para determinar a velocidade do processo por meio do uso de curvas em formato de S. Uma curva S bem conhecida na literatura de modelagem é o modelo de difusão de Bass, que será o objeto central analisado nesta subseção. Os fatores determinantes para a seleção deste método de estudo são, basicamente:

- i. Simplicidade do modelo; e
- ii. Flexibilidade na estimativa de parâmetros.

### 1.2.1. Definição do modelo

O modelo Bass (1969) procura definir a trajetória de como novas tecnologias são adotadas no processo de difusão. Este modelo expressa uma base lógica de interação entre os usuários iniciais com os potenciais novos usuários de uma nova tecnologia. As premissas básicas são de que:

- i. Os usuários podem ser classificados, como: inovadores ou imitadores; e
- ii. A velocidade de adoção é influenciada pelo grau de inovação e de imitação entre os usuários.

Bass (1969) apresenta esta interação na forma de uma equação, a Equação 1, com os seguintes componentes:

- i. Taxa de probabilidade;
- ii. Parametrizada pelo coeficiente de inovação: ( $p$ );
- iii. Coeficiente de imitação: ( $q$ ); e
- iv. Potencial de mercado ( $m$ ).

$$h_t = \frac{f_t}{1-F_t} = p + \frac{q}{m} Y_t \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

- i.  $h_t$  é a taxa de risco, ou seja, a probabilidade de um consumidor adotar a tecnologia no momento  $t$ , dado que ele não adotou a tecnologia anteriormente;
- ii.  $f_t$  é a função de densidade de probabilidade de adoção no tempo  $t$ ;
- iii.  $F_t$  é a função de distribuição cumulativa;
- iv.  $Y_t$  é o número de adotantes no tempo  $t$ , tal que  $Y_t = mF_t$ ;
- v.  $p$  é o parâmetro conhecido como coeficiente de inovação;
- vi.  $q$  é o parâmetro referido como o coeficiente de imitação; e
- vii.  $m$  é o potencial de mercado, ou seja, o número estimado de adotantes após a saturação completa do mercado.

O parâmetro  $p$  reflete a importância dos inovadores em um sistema social e é uma constante igual à probabilidade de adoção em  $t = 0$ . O parâmetro  $q$  cria um processo de reforço da adoção anterior no sistema social e reflete a pressão que opera sobre os usuários imitadores, à medida que aumenta o número de usuários da nova tecnologia.

Bass sugere uma função quadrática do tempo para avaliar a difusão e estimar o conjunto de parâmetros ( $p$ ,  $q$  e  $m$ ). A Equação 2 sistematiza a regressão linear quadrática proposta por Bass para estimar o conjunto de parâmetros.

$$S_t = a + bY_{t-1} + cY_{t-1}^2 \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

- i.  $S_t = Y_t - Y_{t-1}$  é a difusão no momento  $t$ ;
- ii.  $a = pm$ ;
- iii.  $b = q - p$ ; e
- iv.  $c = -\frac{q}{m}$

Assim, utilizando o conjunto de três coeficientes de regressão ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ), é possível identificar o conjunto de três parâmetros do modelo Bass ( $p$ ,  $q$ ,  $m$ ). Portanto, a solução da Equação 2 fornece a curva  $S(t)$ , a qual apresenta um padrão de crescimento logístico com saturação em  $S(t) = m$ .

### 1.2.2. Efeitos dos parâmetros

Resumidamente, existem três entradas no modelo de difusão Bass:

- i. Coeficiente de inovação ( $p$ );
- ii. Coeficiente de imitação ( $q$ ); e
- iii. Participação de mercado potencial ( $m$ ).

Estas variáveis juntas descrevem o quão rápido e o quanto a tecnologia está difundida no mercado. Assim, a razão dos coeficientes de inovação e de imitação afeta a forma do processo de difusão, ou seja, sua velocidade de difusão, enquanto que a participação no mercado potencial descreve o tamanho do mercado em que a tecnologia pode se difundir (PWC, 2018).

Estimativas mais altas do coeficiente de inovação afetam as taxas iniciais de difusão, levando a uma maior adoção nos estágios iniciais do processo. Em contraste, estimativas mais baixas do coeficiente de inovação levam a um período de baixa adoção nos estágios iniciais (PWC, 2018).

O coeficiente de imitação afeta a inclinação da curva S à medida que ela atinge o potencial de mercado. Estimativas mais altas indicam um processo de difusão mais íngreme e rápido, enquanto que estimativas mais baixas indicam um processo de difusão mais plano e lento (PWC, 2018).

Destaca-se que a estimativa do mercado potencial considera uma série de fatores diferentes, que podem incluir, por exemplo, o PIB, a renda e aspectos demográficos. Estas variáveis afetam o universo de consumo provável que deverá adotar a nova tecnologia.

Nos estágios iniciais, pode ser difícil estimar com precisão o tamanho da participação de mercado, devido à complexidade e ao número de fatores. Estimativas incorretas podem levar a um mercado potencial maior ou menor do que o verdadeiro potencial de participação de mercado.

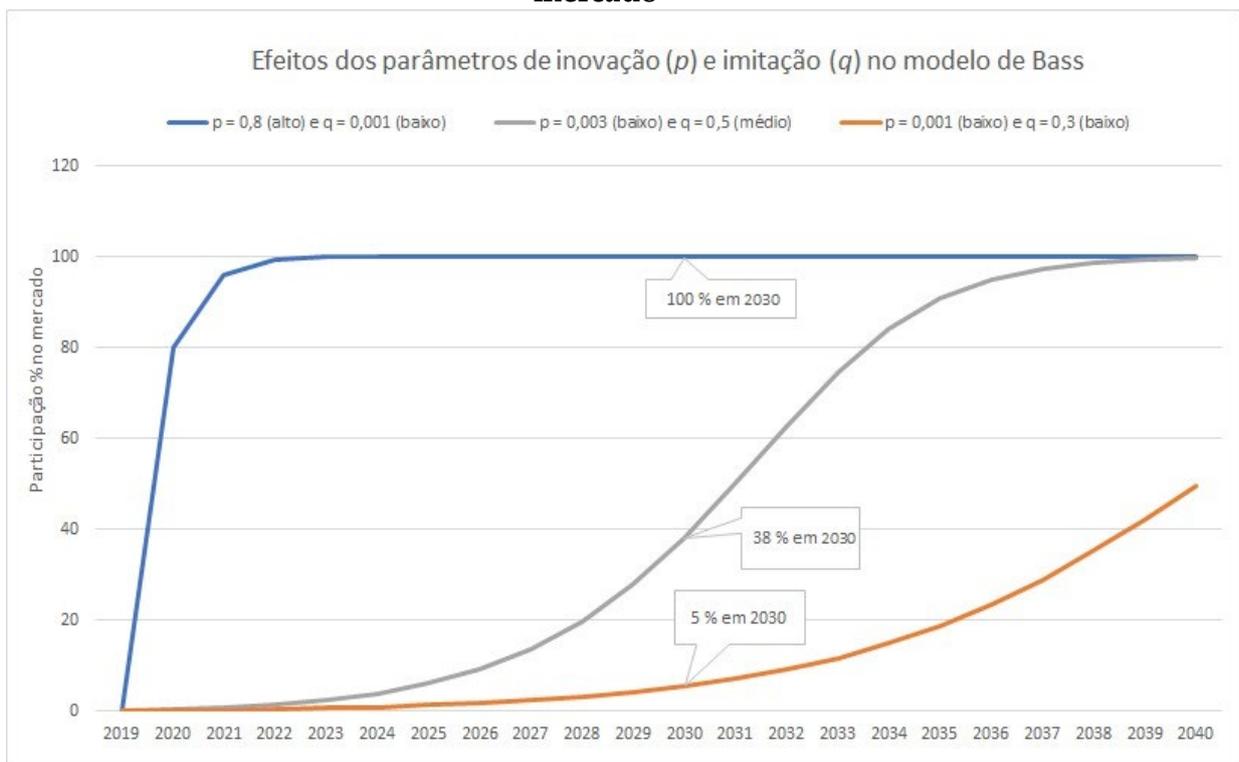
Uma estimativa mais baixa indicará um processo de difusão que fica aquém da participação de mercado real e uma estimativa mais alta, por sua vez, levará a

previsões de difusão que provavelmente não atingirão o nível esperado de saturação do mercado.

Para contornar as complexidades dos estágios iniciais, as estimativas da participação de mercado potencial podem ser atualizadas conforme novas informações são obtidas, para fornecer estimativas mais precisas desta participação (PWC, 2018).

O Gráfico 5 fornece um exemplo de curva de difusão em S. Pode-se observar que as tecnologias que apresentam um valor elevado para o coeficiente de inovação passam por um processo de difusão rápido (trajetória em azul). Por outro lado, valores baixos de inovação e imitação conduzem a um processo lento de adoção (trajetória em laranja).

**Gráfico 5: Modelo de Bass e efeitos dos parâmetros de inovação, imitação e de mercado**



Fonte: Elaboração própria, 2020.

### 1.2.3. Dados para a estimativa dos parâmetros

Uma série de opções estão disponíveis para estimar os parâmetros de difusão de Bass e selecionar a curva de melhor ajuste. Por exemplo, os dados de vendas iniciais podem ser utilizados para estimar as variáveis inovador e imitador ( $p$  e  $q$ ). No entanto, em várias situações, os dados de vendas da nova tecnologia podem não estar disponíveis, uma vez que as empresas produtoras podem não querer compartilhar dados de vendas ou a difusão no mercado pode ser muito incipiente. Contudo, duas opções estão disponíveis para prever o processo de difusão da nova tecnologia neste caso (PWC, 2018):

- i. Utilizar outros mercados como estudos de caso; e
- ii. Utilizar produtos análogos ou que possuem características semelhantes às da nova tecnologia.

Pode-se, ainda, utilizar valores da literatura para estimar os parâmetros. Por exemplo, Sultan *et al.* (1990) estudaram 213 conjuntos de parâmetros de 15 artigos e descobriram que os valores médios de  $p$  e  $q$  eram de 0,03 e 0,38, respectivamente. De acordo com Mahajan *et al.* (2000), é recomendável que a soma  $p + q$  seja igual a 0,50 para bens de consumo, e, na ausência de dados históricos, estes dois parâmetros podem ser arbitrados a partir de produtos com características próximas, considerando-se as peculiaridades de cada produto.

Já o tamanho do mercado depende do próprio bem e do mercado para o qual a tecnologia está se difundindo. Além disso, fatores demográficos e econômicos também influenciam o tamanho do mercado potencial, o qual, geralmente, é representado como uma participação percentual (KUMAR *et al.*, 2015). Como o novo produto, os veículos elétricos, irá substituir os veículos à combustão, a análise de difusão não é tão complexa, tendo como variável central a evolução dos preços dos VEs.

## 2. Cenários de difusão de Veículos Elétricos no Brasil

Com base no referencial teórico sistematizado na seção anterior, foi estruturada, pela equipe de pesquisadores do GESEL-UFRJ, autores do presente estudo, uma análise com o objetivo central de construir cenários de difusão dos VEs no Brasil. Neste sentido, o objetivo específico desta seção é apresentar as principais premissas adotadas<sup>2</sup> e os resultados obtidos, bem como contrastar os resultados com a visão do PNE 2050 para a difusão da mobilidade elétrica, no Brasil, até o horizonte de 2030.

### 2.1. Premissas do modelo

O modelo proposto pelo GESEL-UFRJ para estimar os cenários de difusão de VEs no Brasil utiliza o modelo de difusão de Bass. Para tanto, como foi examinado, é necessário especificar os três parâmetros do modelo, ou seja:

- i. Inovação ( $p$ );
- ii. Imitação ( $q$ ); e
- iii. Mercado ( $m$ ).

Com base na análise da seção anterior e considerando que os VEs são um produto inovador, mas substituto, com baixo coeficiente de inovação ( $p$ ) e alto coeficiente de imitação ( $q$ ), decidiu-se por arbitrar os valores  $p=0,003$  e  $q=0,5$  para os parâmetros do modelo Bass.

---

<sup>2</sup> Em um próximo estudo do GESEL, serão fornecidos maiores detalhes técnicos do modelo elaborado pelo Grupo.

O tamanho do mercado potencial para os VEs é calculado a partir de um potencial total de vendas de veículos novos, dependente da evolução do PIB e do custo total dos veículos, também denominado como *Total Cost of Ownership* (TCO). Em outras palavras, o número total de venda de novos VEs é dependente de duas variáveis:

- i. Performance da economia brasileira, medida pelo PIB; e
- ii. Preço dos VEs.

Assim, os veículos com um alto custo possuem uma participação nas vendas menor, enquanto que os veículos mais baratos apresentam uma participação maior no número de vendas. Naturalmente, à medida que o preço dos VEs for reduzindo em função dos ganhos de escala, o aumento da sua difusão será acelerado, pois uma maior parcela da população poderá ter acesso à tecnologia.

Neste sentido, foram elaborados quatro cenários para avaliar possíveis trajetórias de evolução dos custos dos VEs, apresentadas a seguir.

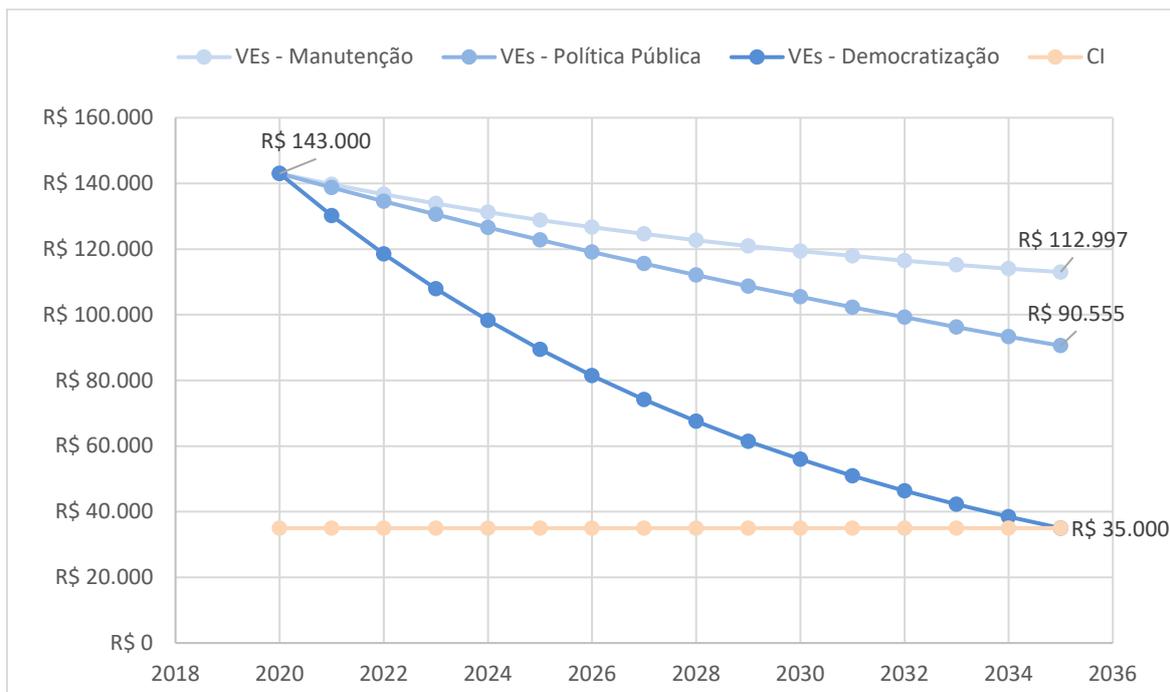
- i. **Cenário Manutenção:** assume que o mercado de VEs não receberá incentivos adicionais do governo e permanecerá no segmento de carros de luxo. A redução de preço seria advinda exclusivamente da queda gradual (7,7% por ano) no preço da bateria até 2030.
- ii. **Cenário Políticas Públicas:** assume que o poder público adotaria algumas ações para estimular a demanda de VEs. Por exemplo, foram considerados a isenção da cobrança do IPVA dos VEs, o desconto no preço dos VEs referente aos ganhos em redução de emissões de GEE durante sua vida útil esperada (Crédito de Carbono) e o ICMS sobre o consumo de eletricidade para abastecimento de VEs seria zerado.
- iii. **Cenário Obrigatoriedade de Apps:** considera que este modal de transporte, veículos contratados por aplicativos (Uber, 99 Taxi, Cabify, etc.), seja obrigatoriamente por VEs, dando lugar a um processo de

migração de tecnologia progressiva e contínua, a partir do ano de 2021 até 2030.

- iv. **Cenário Democratização<sup>3</sup>**: considera que os VEs alcançariam a paridade de custos iniciais com os veículos à combustão interna, atingindo 100% do mercado de venda de veículos novos, em 2035.

A partir destes pressupostos, o Gráfico 6 apresenta a projeção de preços para os modelos de VEs mais acessíveis no mercado, baseado na suposição de cada cenário especificado, contra o valor do veículo básico à combustão interna.

**Gráfico 6: Cenários de evolução do preço dos VEs no Brasil: 2020-2035**



Fonte: Elaboração própria, 2020.

<sup>3</sup> Esta premissa é calcada na previsão de que, em 2025, nos países onde a tecnologia dos VEs está mais difundida, como Noruega, Suécia e Alemanha, os preços dos veículos elétrico e à combustão interna seriam equiparáveis. Desta forma, admitiu-se, aleatoriamente, que a difusão dos VEs no Brasil estaria defasada em 10 anos em relação ao grupo dos países mais avançados.

Após o cálculo do mercado potencial brasileiro de VEs, as projeções ocorrem com base no modelo de difusão de Bass. Este modelo utiliza:

A dimensão do mercado potencial em que o produto é inserido;

O efeito de promoção do produto que atinge os consumidores mais inovadores;  
e

O efeito de imitação dos consumidores mais conservadores em relação aos mais inovadores.

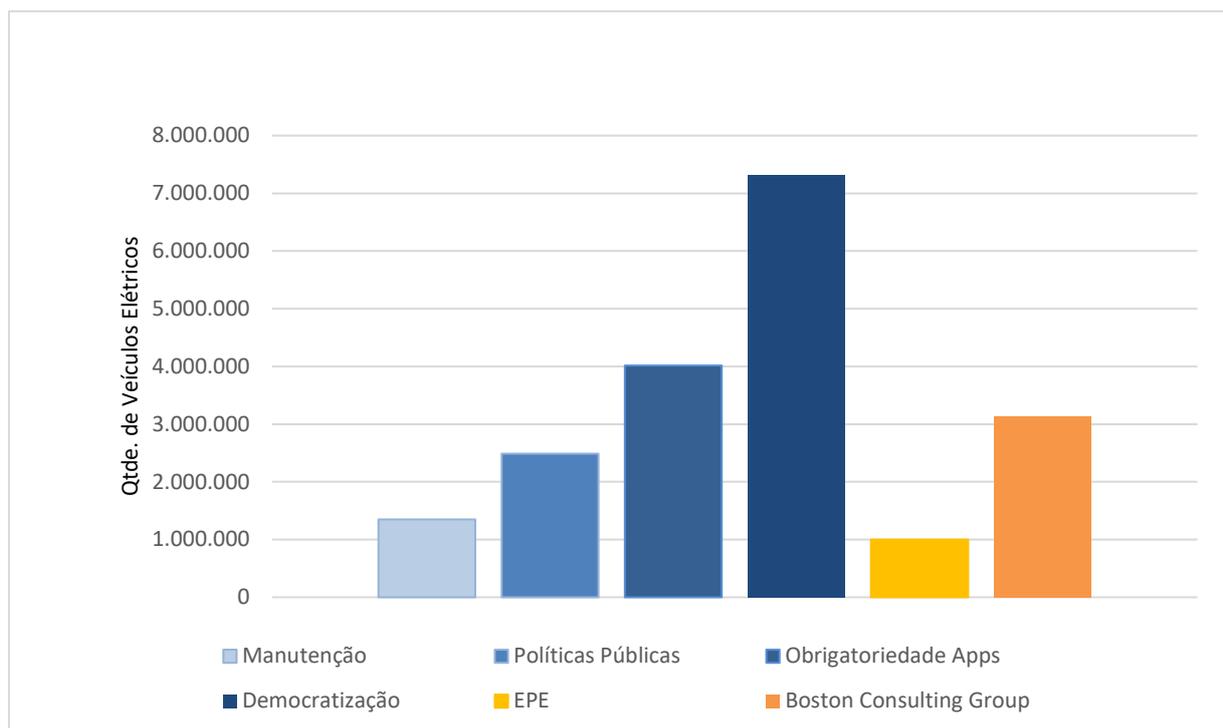
Os resultados destas premissas serão examinados na próxima subseção.

## **2.2. Evolução da frota de Veículos Elétricos**

Mediante a utilização do modelo Bass, os resultados obtidos de difusão de VEs na frota brasileira, até o horizonte do ano de 2030, estão representados no Gráfico 7. Como era esperado, o cenário manutenção apresenta a menor taxa de adoção de VEs, devido ao alto valor de aquisição destes veículos, que ficam restritos a uma parcela pequena da população. Conforme os preços vão se reduzindo, por conta, principalmente, do efeito economia de escala, este percentual de penetração aumenta, podendo atingir, em 2030, mais de 7 milhões de VEs no cenário democratização.

Para efeito de comparação, os resultados obtidos são contrastados com as projeções do PNE 2050 (EPE, 2020) e da BCG (2019). Observa-se que a projeção mais agressiva realizada pelo PNE 2050 é inferior ao cenário de manutenção e à projeção estimada pela BCG (2019), um indicativo de que o Plano adota uma visão nitidamente conservadora no que diz respeito ao desenvolvimento da mobilidade elétrica no país.

**Gráfico7: Projeções de difusão VEs para 2030**



Fonte: Elaboração própria, com base em Rosa e Ordoñez (2020) e Moura (2019).

O cenário de política pública evidencia que, caso sejam dados incentivos à aquisição, a difusão dos VEs até o horizonte de 2030 seria 85% superior ao cenário de manutenção. Outra política avaliada seria a obrigatoriedade do uso de VEs no transporte individual compartilhado, como é o caso dos veículos de aplicativos. Neste cenário, a difusão dos VEs seria 298% superior ao cenário base. Entretanto, o GESEL-UFRJ avalia que estas alternativas indicam ser, no cenário econômico atual, de difícil implementação em termos de política econômica, devido à incapacidade de serem oferecidos subsídios e isenções fiscais.

O cenário de democratização, o qual assume que os VEs irão ganhar escala e reduzir o preço favorecendo a aquisição, apresenta a maior taxa de difusão de VEs até 2030. De acordo com este cenário, seriam mais de 7 milhões de VEs em circulação, o que representa um valor 700% e 250% maior do que o estimado pelo PNE 2050 e pela BCG (2020), respectivamente.

Apesar de este ser um cenário agressivo, alguns fatores externos fundamentam esta perspectiva. Como examinado, para que os VEs possam atingir um nível de difusão generalizado, é fundamental que a tecnologia ganhe escala e reduza o preço, trajetória verificada em inúmeros bens tecnologicamente inovadores. Neste sentido, três fatores devem apresentar um papel importante e mesmo estratégico para a aceleração da difusão, vinculada à redução do preço dos VEs via ganhos de escala.

O primeiro é o processo de descarbonização como um indutor direto e inflexível para o aumento da demanda de VEs, em razão dos compromissos assumidos pelo Brasil nos acordos internacionais de redução da emissão de GEE, uma vez que o setor de transporte tem um peso elevado. Ademais, por se tratar de um movimento global, com importantes países se comprometendo, esta tendência configura-se como um indutor consistente, o que reforçará, cada vez mais, o aumento da demanda por VEs.

O segundo fator é que a produção de veículos ocorre no âmbito de uma indústria oligopólica em escala mundial. Fusões e aquisições ajudam a determinar ganhos de escala e a competitividade entre estes grupos tem como um dos seus principais vetores novos produtos, ou seja, novos modelos. Os VEs são esta tendência e, como o Brasil tem uma posição relevante no mercado mundial, o ciclo de importação, montagem e produção de VEs no país é uma trajetória consistente, mesmo que, neste processo, alguns grupos resolvam sair do mercado brasileiro, como foi o caso recente da Ford, em função da estratégia de consolidar posições nos mercados mais maduros.

O terceiro é o papel central que a China terá no futuro da mobilidade elétrica mundial. As políticas tecnológica e econômica chinesas<sup>4</sup> identificaram o desenvolvimento dos VEs como um vetor fundamental para a transformação do

---

<sup>4</sup> “O desenvolvimento de novos veículos elétricos é essencial para a transformação da China de um grande país automotivo em um poderoso país automotivo. Devemos aumentar a pesquisa e o desenvolvimento, analisar seriamente o mercado, ajustar a política existente e desenvolver novos produtos para atender às necessidades de diferentes clientes. Isso pode dar uma forte contribuição para o crescimento econômico.” - Presidente Xi Jinping (maio de 2014, visitando uma fábrica de veículos elétricos em Xangai).

país em uma grande potência automobilística e, por outro lado, como fonte de incremento do desenvolvimento econômico. Destacam-se, ainda, outros dois objetivos viabilizados pela nova tecnologia que são do interesse da China:

- i. A redução da poluição e a melhoria da qualidade do ar nas cidades chinesas; e
- ii. A redução da importação de petróleo.

Conseqüentemente, o governo chinês apoia fortemente a produção e a difusão dos VEs. As políticas públicas do governo incluíam, entre outros, a meta de 5 milhões de VEs nas estradas da China para 2020 (meta prejudicada pela crise da pandemia), cotas de VEs para fabricantes e importadores de veículos, subsídios de fabricação, isenções de impostos, demandas governamentais e estímulos diversos para a criação de uma rede de estações de carregamento de VEs. Muitos governos provinciais também apoiam os VEs, com acesso preferencial e outros incentivos (COLUMBIA, 2019).

Ao nível mais geral e mundial, deve-se considerar a perspectiva real e concreta do fim dos carros movidos a combustíveis fósseis em diversos mercados relevantes. Entre estes países e mercados, destacam-se Noruega, em 2025, Inglaterra, Suécia, Holanda, Dinamarca e Irlanda, 2030, Califórnia, em 2035, e Canadá, Espanha e França, em 2040. Desta forma, observa-se que a conversão da indústria automobilística global para a produção em massa de VEs é um processo que já está em curso e que tende a ter conseqüências importantes para países que, como o Brasil, não têm uma política explícita de transição para a eletrificação do segmento de transportes.

### **3. Considerações finais**

O objetivo deste estudo foi o de contribuir para um maior entendimento do processo de difusão da mobilidade elétrica no Brasil, utilizando, como base conceitual, a teoria da inovação e o modelo de Bass. Os resultados obtidos identificaram a possibilidade de que a difusão dos VEs pode ocorrer de forma mais acentuada até 2030, em contraste com as perspectivas formuladas pelo PNE 2050, que apresenta uma estimativa de eletrificação mais intensa da frota brasileira de veículos somente a partir de 2040.

Embora o PNE 2050 aponte que políticas públicas direcionadas a induzir o crescimento da mobilidade elétrica não seja uma prioridade para o país, o cenário global de impulso à mobilidade elétrica tende a “contaminar” positivamente o mercado brasileiro. Esta interpretação deve-se ao fato de que, à medida que a tecnologia amadurece e a escala de produção aumenta, é de se esperar um barateamento dos VEs em escala mundial, em especial com um posicionamento mais agressivo da China. Dentro deste movimento, os VEs vão apresentar, mesmo na ausência de subsídios, custos competitivos se comparados aos veículos à combustão e, como a indústria automobilística é global, a redução esperada não tardará a chegar ao Brasil.

Como examinado na Seção 2, tendo em vista os cenários de desenvolvimento construídos, caso o preço dos VEs se equipare ao dos veículos à combustão, a difusão pode se situar em um patamar muito superior ao previsto pelo PNE 2050.

Merece ser assinado, com a devida ênfase, que as projeções do PNE 2050 não foram formuladas sem fundamentos ou estão erradas. A questão central é que a EPE baseou as suas projeções no conhecimento acumulado até 2018 e, deste ano até fins de 2020, o cenário de mobilidade elétrica mundial sofreu profundas alterações, com especial destaque para a pandemia. A grave crise econômica provocada pela pandemia obrigou os países mais desenvolvidos a formularem programas de recuperação econômica fundamentados em novas tecnologias verdes, nos quais a mobilidade elétrica recebeu prioridade dada a importância

da cadeia produtiva da indústria automobilística. Neste sentido, foi possível considerar estes novos enquadramentos econômico e ambiental no presente estudo.

Desta forma, e a título final de conclusão, este estudo deve ser considerado como uma contribuição acadêmica para os cenários e metas de eletrificação da frota de veículos do Brasil.

## Referências

- AEPPEL, T. It took the telephone 75 years to do what angry birds did in 35 days. The Wall Street Journal, 13 March 2015. Disponível em: <[http://www.bec.org.nz/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0015/114054/D2\\_S9\\_Christina-Bu.pdf](http://www.bec.org.nz/__data/assets/pdf_file/0015/114054/D2_S9_Christina-Bu.pdf)>. Acesso em: 05/12/2020.
- BARAN, R. A introdução de veículos elétricos no Brasil: Avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade. 2012.
- BASS, F. M. A New product growth model for consumer durables. Management Science, v. 15, n. 5, pp. 215-227, 1969.
- BOUTON, S.; KNUPFER, S. M.; MIHOV, I.; SWARTZ, S. Urban mobility at a tipping point. 2015.
- BRIGHT CONSULTING. AutoData Editora - Bright Consulting projeta mercado de 2 milhões de veículos em 2020. 2020. Disponível em: <<https://www.autodata.com.br/noticias/2020/07/02/bright-consulting-projeta-mercado-de-2-milhoes-de-veiculos-em-2020/31520/>>. Acesso em: 05/12/2020.
- BROWN, R. Managing the “S” Curves of Innovation. Journal of Business & Industrial Marketing, v. 7 n. 3, pp. 41-52, 1992. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/08858629210035418>>.
- BU, C. The Norwegian EV success. 2016.
- COLUMBIA UNIVERSITY. Guide to Chinese Climate Policy. 2019. Disponível em: <<https://chineseclimatepolicy.energypolicy.columbia.edu/en/electric-vehicles>>. Acesso em: 05/12/2020.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Eletromobilidade e biocombustíveis. Dezembro de 2018.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2050. Dezembro de 2020.
- FINEP, Financiadora de Estudos e Projetos. A travessia do vale da morte. 2019. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/noticias/todas-noticias/5995-a-travessia-do-vale-da-morte>>. Acesso em: 05/12/2020.
- FRIEDMAN, G. Elon Musk has become the world’s richest person, as Tesla’s stock rallies. 2020. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2021/01/07/business/elon-musk-worlds-richest.html>>. Acesso em: 05/12/2020.
- GARTNER. 2020 Hype Cycle for Connected and Smart Mobility. Disponível em: <<https://www.sae.org/news/2020/09/2020-hype-cycle-for-connected-vehicles-and-smart-mobility>>. Acesso em: 05/12/2020.

- GKOUMAS, K. A framework for the taxonomy and assessment of new and emerging transport technologies and trends, 2019. Disponível em: 10.3846/transport.2019.9318.
- IEA, International Energy Agency. Global EV Outlook 2020. 2020. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>>. Acesso em: 05/12/2020.
- IRENA, International Renewable Energy Agency. Global Renewables Outlook: Energy Transformation 2050. 2020. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020>>. Acesso em: 08/10/2020.
- KUMAR, A.; SHANKAR, R.; MOMAYA, K. The Bass diffusion model does not explain diffusion. 2015.
- MAHAJAN, V.; MULLER, E.; WIND, Y. New-product diffusion models. International Series in Quantitative Marketing 11, 2000.
- MOURA, M. Carro elétrico no Brasil: do zero aos bilhões em 10 anos. Época Negócios, 26 de setembro de 2019. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2019/09/carro-eletrico-no-brasil-do-zero-aos-bilhoes-em-10-anos.html>>. Acesso em: 05/12/2020.
- PWC, PricewaterhouseCoopers. Driving change: technology diffusion in the transport sector. June, 2018.
- ROGERS, E. M. Diffusion of innovations. New York: Free Press, 1962.
- ROSA, B.; ORDOÑEZ, R. Carros elétricos 'aceleram', e Brasil dá largada na corrida pelo níquel. O Globo, 30 de agosto de 2020. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/economia/carros-eletricos-aceleram-brasil-da-largada-na-corrida-pelo-niquel-24614334>>. Acesso em: 05/12/2020.
- SPARKS, D. Why Tesla Stock Jumped on Wednesday. 2021. Disponível em: <<https://www.fool.com/investing/2021/01/06/why-tesla-stock-jumped-on-wednesday/#:~:text=The%20stock's%20gain%20is%20likely,price%20target%20for%20Tesla%20shares>>. Acesso em: 10/01/2021.
- SULTAN, F.; FARLEY, J.; LEHMANN, D. A meta-analysis of applications of diffusion models. Journal of Marketing Research 27, n. 1, pp 70-77, 1990.
- TCA. Quais tecnologias vieram para ficar, 2020. Disponível em: <<https://www.tca.com.br/blog/ciclo-do-hype-quais-tecnologias-vieram-para-ficar/>>. Acesso em: 05/12/2020.

Toda a produção acadêmica e científica do GESEL está disponível no site do Grupo, que também mantém uma intensa relação com o setor através das redes sociais Facebook e Twitter.

Destaca-se ainda a publicação diária do IFE - Informativo Eletrônico do Setor Elétrico, editado deste 1998 e distribuído para mais de 10.000 usuários, onde são apresentados resumos das principais informações, estudos e dados sobre o setor elétrico do Brasil e exterior, podendo ser feita inscrição gratuita em <http://cadastro-ife.gesel.ie.ufrj.br>

GESEL – Destacado think tank do setor elétrico brasileiro, fundado em 1997, desenvolve estudos buscando contribuir com o aperfeiçoamento do modelo de estruturação e funcionamento do Setor Elétrico Brasileiro (SEB). Além das pesquisas, artigos acadêmicos, relatórios técnicos e livros – em grande parte associados a projetos realizados no âmbito do Programa de P&D da Aneel – ministra cursos de qualificação para as instituições e agentes do setor e realiza eventos – work shops, seminários, visitas e reuniões técnicas – no Brasil e no exterior. Ao nível acadêmico é responsável pela área de energia elétrica do Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento do Instituto de Economia (PPED) do Instituto de Economia da UFRJ

ISBN: 978-65-86614-22-0

**SITE:** [gesel.ie.ufrj.br](http://gesel.ie.ufrj.br)

**FACEBOOK:** [facebook.com/geselufrj](https://www.facebook.com/geselufrj)

**TWITTER:** [twitter.com/geselufrj](https://twitter.com/geselufrj)

**E-MAIL:** [gesel@gesel.ie.ufrj.br](mailto:gesel@gesel.ie.ufrj.br)

**TELEFONE:** (21) 3938-5249  
(21) 3577-3953



Versão Digital

**ENDEREÇO:**

UFRJ - Instituto de Economia.  
Campus da Praia Vermelha.

Av. Pasteur 250, sala 226 - Urca.  
Rio de Janeiro, RJ - Brasil.  
CEP: 22290-240