



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Gabriel de Castro Martins Souza

**Previsão da Adoção de Consumidores no Mercado Livre de Energia via
Modelo Bass**

Florianópolis
2025

Gabriel de Castro Martins Souza

**Previsão da Adoção de Consumidores no Mercado Livre de Energia via
Modelo Bass**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica

Orientador(a): Prof.(a) Joel Boeng, Dr(a).Eng.

Florianópolis

2025

Souza, Gabriel de Castro Martins

Previsão da adoção de consumidores no mercado livre de energia via modelo bass / Gabriel de Castro Martins
Souto, Joel Boeng, 2025.

61 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Tecnológico, Graduação em Engenharia Mecânica,
Florianópolis, 2025.

Inclui referências.

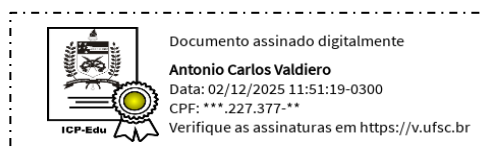
1. Engenharia Mecânica. 2. Mercado Livre de Energia. 3.
Modelo de Bass. 4. Adoção de consumidores. I. Boeng, Joel.
II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Mecânica. III. Título.

Gabriel de Castro Martins Souza

Previsão da Adoção de Consumidores no Mercado Livre de Energia via Modelo Bass

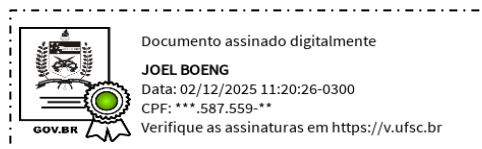
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Mecânico e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Mecânica

Florianópolis, 17 de outubro de 2025.



Prof. Antonio Carlos Valdiero, Dr.Eng.
Coordenador do Curso

Banca examinadora



Prof. Joel Boeng, Dr.Eng.
Orientador

Prof. Saulo Güths, Dr.Eng
UFSC

Prof. Allan Ricardo Starke, Dr.Eng.
UFSC

Florianópolis, 2025

Dedico este trabalho a meus pais, que me deram a vida não uma, mas inúmeras vezes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a meus pais por todo o apoio incondicional que me forneceram para que eu chegasse até aqui.

Ao meu amigo e, por muito, conselheiro, Tiago Luna que foi fundamental para conclusão deste trabalho e ampliou minha visão sobre o mundo através da ótica de dinâmica de sistema. Bem como a toda a equipe com quem pude trabalhar durante meu estágio na ENGIE.

A todos os professores do departamento de engenharia mecânica da UFSC, os quais foram parte fundamental da minha formação como profissional e humano.

E a todos que não foram citados aqui, mas participaram da minha jornada pela graduação de forma direta ou indireta.

*A vida é uma grande batalha. Sempre foi e sempre
será. E, se não fosse assim, ela chegaria ao fim.*

(Carl Gustav Jung, 1964)

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar a difusão de inovação no mercado livre de energia elétrica no Brasil, aplicando o modelo de Bass em conjunto com a metodologia de Dinâmica de Sistemas. Inicialmente, apresenta-se a fundamentação teórica sobre difusão de inovações, destacando os elementos centrais do modelo de Bass e suas limitações. Em seguida, é feita uma revisão do processo de migração de consumidores para o mercado livre, ressaltando a relevância do tema diante da expansão do setor e da transição energética. A partir disso, desenvolveu-se um modelo dinâmico que permite simular diferentes cenários de adoção, considerando parâmetros como coeficiente de inovação, imitação e impacto regulatório. Os resultados demonstram que a metodologia proposta é capaz de representar adequadamente os padrões de adoção, oferecendo insights relevantes para formuladores de políticas públicas, empresas comercializadoras e agentes do setor energético. Conclui-se que a integração entre o modelo de Bass e a Dinâmica de Sistemas constitui uma ferramenta promissora para análise de mercados em transformação, embora sejam necessárias melhorias nos dados e aprofundamento na calibração para maior robustez preditiva.

Palavras-chave: Modelo de difusão de Bass; Mercado de Energia; Dinâmica de Sistemas; Adoção de Consumidores.

ABSTRACT

This study aims to analyze the diffusion of innovation in the Brazilian free energy market through the application of the Bass diffusion model combined with System Dynamics methodology. The theoretical framework first presents the foundations of innovation diffusion, emphasizing the Bass model and its limitations. Then, the research examines the migration of consumers to the free market, highlighting the relevance of this transition within the current energy expansion and renewable integration scenario. A dynamic model was developed to simulate adoption patterns under different scenarios, considering parameters such as innovation and imitation coefficients and regulatory impacts. The results indicate that the proposed approach adequately represents adoption dynamics, providing valuable insights for policymakers, energy traders, and market stakeholders. It is concluded that the integration of the Bass model with System Dynamics is a promising tool for analyzing evolving markets, although further data refinement and parameter calibration are required to strengthen predictive robustness.

Keywords: Bass diffusion model; energy market; system dynamics; consumer adoption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Malhas de Transmissão do SIN	19
Figura 2 - Geração do SIN por Fontes	20
Figura 3 - Evolução da Capacidade Instalada	20
Figura 4 - Participação do Consumo de Energia por Estado Brasileiro	21
Figura 5 - Evolução do Consumo de Energia Brasileiro	21
Figura 6 - Divisão Institucional do SEB	22
Figura 7 - Segmentos Empresariais do SEB.....	24
Figura 8 - Submercados de Energia no Brasil	27
Figura 9 - Quantidade de Agentes por Classe	28
Figura 10 – Participação dos Estados por Ambiente	31
Figura 11 – Curva de Adoção da Inovação	34
Figura 12 – Curva de Adoção de Tecnologias nos EUA	35
Figura 13 – Curva de Difusão por Dupla Representação	36
Figura 14 - Retroalimentação Positiva.....	38
Figura 15 - Retroalimentação Negativa	39
Figura 16 - Diagrama de Estoque e Fluxo.....	40
Figura 17 - DEF do Modelo de Bass	41
Figura 18 – Adotantes Mensais no MLE	46
Figura 19 – Ciclos de Adoção	46
Figura 20 – Mercado Potencial.....	49
Figura 21 - Comparativo do Ajuste Entre Modelos de Difusão.....	50
Figura 22 - Cenários com Modelo de Bass	52
Figura 23 – Adoção Acumulada pelo Modelo de Bass	53
Figura 24 – Variação dos Perfis de Adotantes.....	54
Figura 25 – Curva de Gartner	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Efeitos das Portarias do MME	30
Tabela 2 – Caracterização dos Perfis de Adotantes	37
Tabela 3 – Modelos Alternativos Usados em Processos de Difusão	43
Tabela 4 - Métricas de Ajuste	51
Tabla 5 – Restrição dos parâmetros “p” e “q”	51
Tabela 6 – Adoção dos parâmetros “p” e “q”	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRACEEL – Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia

ACL – Ambiente de Contratação Livre

ACR – Ambiente de Contratação Regulada

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CNPE – Conselho Nacional de Política Energética

DEF – Diagrama de Estoque e Fluxo

DLC – Diagrama de Laço Causal

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

GW – Gigawatt

MLE – Mercado Livre de Energia

MME – Ministério de Minas e Energia

MMGD – Micro e Mini Geração Distribuída

MIT – Massachusetts Institute of Technology

MW – Megawatt

ODS – Objetivo de Desenvolvimento Sustentável

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

ONU – Organização das Nações Unidas

PIB – Produto Interno Bruto

SEB – Setor Elétrico Brasileiro

SIN – Sistema Interligado Nacional

UC – Unidade Consumidor

SUMÁRIO.....	3
1.INTRODUÇÃO	15
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	15
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	16
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.3 JUSTIFICATIVA	16
1.4 ESTRUTURA	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO	18
2.1.1 HISTÓRICO	18
2.1.2 INSTITUIÇÕES.....	22
2.1.3 SEGMENTOS.....	23
2.2 MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	26
2.2.1 AGENTES	27
2.2.2 AMBIENTES DE CONTRATAÇÃO.....	30
2.3 TEORIA DE DIFUSÃO DE INOVAÇÃO	32
2.3.1 CARACTERÍSTICAS PARA INOVAÇÕES	33
2.3.2 CURVA DE DISTRIBUIÇÃO	34
2.3.3 CLASSIFICAÇÃO DE ADOTANTES	35
2.4 MODELAGEM MATEMÁTICA DE DIFUSÃO TECNOLÓGICA.....	37
2.4.1 DINÂMICA DE SISTEMAS.....	38
2.4.2 MODELO DE BASS	41
2.4.3 OUTROS MODELOS	42
3. METODOLOGIA	44
3.1 MERCADO POTENCIAL	44
3.1.1 ESTIMATIVA DO MERCADO POTENCIAL	44
3.1.2 CRESCIMENTO DO MERCADO POTENCIAL	44
3.1.3 LIMITE DE MIGRAÇÃO	45
3.2 COMPORTAMENTO DA MIGRAÇÃO	45
3.2.1 ESTUDO DO HISTÓRICO DE MIGRAÇÃO	45
3.3 APLICAÇÃO MODELO DE BASS	47

<u>4.ANÁLISE DE RESULTADOS.....</u>	<u>49</u>
4.1. RESULTADOS DO POTENCIAL DE MERCADO	49
4.2. AJUSTE DO MODELO	50
4.3. ANÁLISES VIA APLICAÇÃO DE BASS	51
<u>5.CONCLUSÃO</u>	<u>56</u>
<u>REFERÊNCIAS</u>	<u>58</u>

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O setor de energia é fundamental para o desenvolvimento econômico e social de uma nação, com o consumo de energia per capita sendo um indicador diretamente proporcional a indicadores sociais como taxa de analfabetismo, expectativa de vida, mortalidade infantil (Goldemberg, 1998). Assim, é um setor estratégico para qualquer nação que almeja o desenvolvimento pleno.

Não diferente, o Setor Elétrico Brasileiro (SEB) tem uma grande relevância do Estado e contará com mais de 7,6 Bilhões de reais previstos em investimentos previstos entre 2025 a 2029 segundo o Ministério de Minas e Energia (MME, 2024). Para fomentar ainda mais o seu desenvolvimento, uma série de mudanças regulatórias e até mesmo estruturais vem redefinindo os paradigmas desse ramo desde a década de 1990, com elas indo desde como a eletricidade é gerada a seu consumo final. Tais mudanças vêm principalmente da necessidade de atrair mais capital privado de modo a reduzir os grandes custos estatais bem como trazer mais dinamismo e agilidade no segmento.

Nesse contexto podemos dar destaque a uma que vem sendo uma das maiores transformações, a Lei nº 10.848 de 15 de março de 2004 que traz as disposições sobre a comercialização de energia, estabelecendo dois ambientes de contratação de energia: Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). No ambiente regulado existe o chamado consumidor cativo, este que é restrito a distribuidora local de energia, não podendo escolher seu fornecedor de energia e possuindo o preço vinculado a tarifa de energia estabelecida pela ANEEL. Enquanto isso, no ambiente regulado figura o consumidor livre que tem a possibilidade de firmar contratos bilaterais com agentes comercializadores de energia, tendo assim liberdade de fornecedor e consequentemente a condição de variabilidade em quesito a preço da *commodity*.

Desde então, existe a possibilidade da chamada migração do ACR para o ACL, onde o consumidor cativo se transforma em consumidor livre. Isso se dá mediante alguns requisitos que variam de classe de tensão e consumo, que foram sendo gradualmente expandidos para dar acesso ao total potencial de adesão.

Segundo a portaria normativa nº 50, emitida pelo MME em 27 de setembro de 2022, todos os consumidores que pertençam ao grupo A, alta e média tensão, poderão, a partir de 2024, efetuar a migração independente da sua faixa de volume demandado ou setor (Brasil, 2022; ENGIE, 2023). Tal mudança destravou um potencial de mercado de mais de 131 mil UCs, segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2024), o que acarretará em um provável perfil diferente de adoção do que antes havia sido observado.

Com a necessidade de entender o comportamento de difusões de adoção de novas tecnologias, o Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), desenvolveu a técnica de Dinâmica de Sistemas a partir da teoria de Controle, para assim poder elaborar políticas públicas e empresariais que buscassem a otimalidade (Sterman, 2000). Sendo assim, foram desenvolvidas diversas técnicas de modelagem matemática de sistemas que resultam nas prováveis curvas comportamentais de adoção de tecnologias, bens ou produtos. Essas curvas são costumeiramente sigmóides, formato em S, e se embasam na teoria de difusão de inovações desenvolvida por Everett M. Rogers em 1962.

Existem diversas formas de fazer esse tipo de modelagem com os principais modelos sendo: Logístico, Gompertz, Richards e Bass como descrito em Business Dynamics (Sternan, 2000). O modelo de Bass acaba por ser um dos modelos mais utilizados, sendo constantemente citado na literatura e também possui fácil compreensão e aplicação, por isso foi o escolhido para a confecção deste trabalho.

Com isso, este Trabalho de Conclusão de curso se dispõem a avaliar o atual crescimento do número de adoção de UCs no Mercado Livre de Energia, aplicando a formulação desenvolvida (Frank Bass, 1969), de modo a projetar cenários e delimitar uma faixa de segurança da sua evolução. Mostrando se um importante fator para o planejamento estratégico de uma comercializadora de energia, bem como o acompanhamento de vendas e novas prospecções.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O presente estudo tem como objetivo fazer uma análise das migrações para o Mercado livre, de modo a medir a taxa de adesão utilizando-se para tal o modelo difusão de Bass.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos almejados pelo estudo são:

- a. Fazer uma revisão da bibliografia dos temas que se encaixam dentro da pesquisa
- b. Analisar o histórico de migração para o ACL
- c. Identificar o mercado potencial
- d. Aplicar o modelo de difusão de Bass e confeccionar cenários de migração
- e. Analisar os cenários de migração

1.3 JUSTIFICATIVA

Fazer a mudança para o mercado livre de energia tem se mostrado uma grande vantagem para o consumidor geral, representando múltiplos benefícios como: escolha do contratante fazendo um mercado de preços mais competitivos, descontos em torno de 30% em relação a conta energética gerada no mercado cativo, mais previsibilidade e segurança para gestão de energia. Isso torna o tema muito atrativo.

Com a última mudança da regulação, liberando todo o mercado de alta tensão, fez com que até outubro de 2024 o Mercado livre de energia contasse com mais de 58.745 Unidades Consumidoras (UCs), sendo 21.368 destas ingressantes só nos últimos doze meses, um aumento de 57% em um único ano, segundo dados da Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia (Abraceel, 2024). Constando-se assim, um mercado de aparente rápida adoção.

Além disso, a expansão desse Mercado é tida como uma das forças motrizes do crescimento da infraestrutura energética no país, com mais de 80% das usinas que entraram

em operação em 2024 foram direcionadas para o Ambiente de Contratação Livre (ACL), segundo dados da Aneel. Com um estudo da Abraceel mostrando que a expansão da oferta energética brasileira no horizonte de 2024 e 2030 tem mais de 157 GW previstos, desse total são aproximadamente 93% já alocados restritamente para o ACL.

Ainda no contexto da expansão puxada pelo ACL, vale ressaltar que os novos projetos destinados ao ambiente livre são projetos de fontes renováveis, com 94% da geração centralizada prevista até 2030 vem liderada pelas fontes solar e eólica. Mostrando a forte correlação desse mercado com um dos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), o ODS 7 que defende a energia limpa e acessível, elaborados pela Organização das Nações Unidas (ONU).

Deste modo, perante os pontos elencados, e tomando a necessidade de empresas e outras organizações que operam nesse setor entenderem como se dará o processo de crescimento desse novo mercado, para poderem tomar decisões mais estratégicas e assertivas. Isso se faz justificar a presente pesquisa ao buscar realizar a projeção dos possíveis cenários de migração.

1.4 ESTRUTURA

O presente Trabalho de Conclusão de curso se estrutura em cinco capítulos. O primeiro traz contextualização do tema, apresentação dos objetivos, justificativa e mostra a estrutura do trabalho. O segundo capítulo propõe a fundamentação teórica, são apresentados conceitos essenciais do SEB, MLE, difusão de inovação e teoria de sistemas para a difusão tecnológica.

O terceiro capítulo traz a metodologia de como o trabalho foi desenvolvido e apresenta as premissas do estudo. Enquanto o quarto capítulo faz a análise dos resultados obtidos. O quinto e último capítulo traz as conclusões do estudo e suas considerações finais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo traz os fundamentos teóricos essenciais para o entendimento do estudo com através de uma revisão bibliográfica do tema.

2.1 SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

O Setor Elétrico Brasileiro é de imensa extensão e complexidade, com o Brasil ocupando a sétima posição em capacidade instalada e consumo de energia no mundo, o que o faz se consolidar como o maior da América Latina, segundo dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2024).

2.1.1 Histórico

Para chegar ao modelo atual, o setor passou por modificações desde a década de 1990, com diversas ações do governo que visaram sua remodelagem. Antigamente o sistema era estatizado e verticalizado, com o domínio de empresas estatais como a Eletrobrás e outras concessionárias estaduais. As reformas buscaram garantir um mercado mais competitivo, com livre acesso a transmissão, fortalecimento do produtor independente, desverticalização do setor e liberação progressiva para consumidores (Lorenzo, 2001).

Tivemos marcos importantes para o desenvolvimento do setor, a começar pela lei nº 9.074/95 que dispõe sobre o regime concorrencial na licitação de concessões para projetos de geração e transmissão, a criação do produtor independente de energia e do conceito de consumidor livre. A lei nº 9.427/96 que instituiu a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e a nº 9.648/98 que decreta as regras de entrada, tarifas e estrutura de mercado (Pires, 1999), além da criação do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

Dando continuidade às reformas da década anterior e após uma crise de energia ter gerado apagões e racionamento de energia em 2001, o Governo Federal, através do Ministério de Minas e Energia (MME), lança os fundamentos de um novo modelo para o setor elétrico em 2003/4. O novo modelo se baseou em contratos a fim de incentivar a expansão do sistema, com a criação do Ambiente de Contratação Livre e o Ambiente de Contratação Regulado. Destacam-se os Decretos nº 5.163/04 e nº 5.177/04, com a regulamentação da comercialização de energia elétrica e a criação da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), respectivamente.

Por meio dessas e outras medidas, o programa de reestruturação moldou o SEB tendo como foco os principais pontos:

- Desverticalização das empresas, dividindo-as nos segmentos de geração, distribuição e transmissão;
- Privatização do Setor;
- Criação de uma estrutura de governança para o setor, por meio de órgãos e instituições como a ANEEL;
- Criação de um ambiente livre de transações de contratos de energia entre geradores, comercializadores e consumidores.

Todo esse retrospecto fez o SEB dos dias de hoje, que é formado pelo Sistema Interligado Nacional (SIN), existente na maior parte do país, e Sistemas Isolados, visíveis na região Norte (Bastos, 2012). O SIN é formado por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte. Sua interconexão se dá por meio de uma extensa malha de transmissão, permitindo a transferência de energia entre os subsistemas e a obtenção de

ganhos sinérgicos. Com a integração dos recursos de geração, distribuição e transmissão proporcionando segurança e economia ao mercado (ONS, 2025).

Com mais de 171.640 mil km de extensão em 2025 e com previsão de 200.015 km para 2028, o SIN se mostra como um dos maiores do mundo. Sua dimensão pode ser visualizada na figura 1.

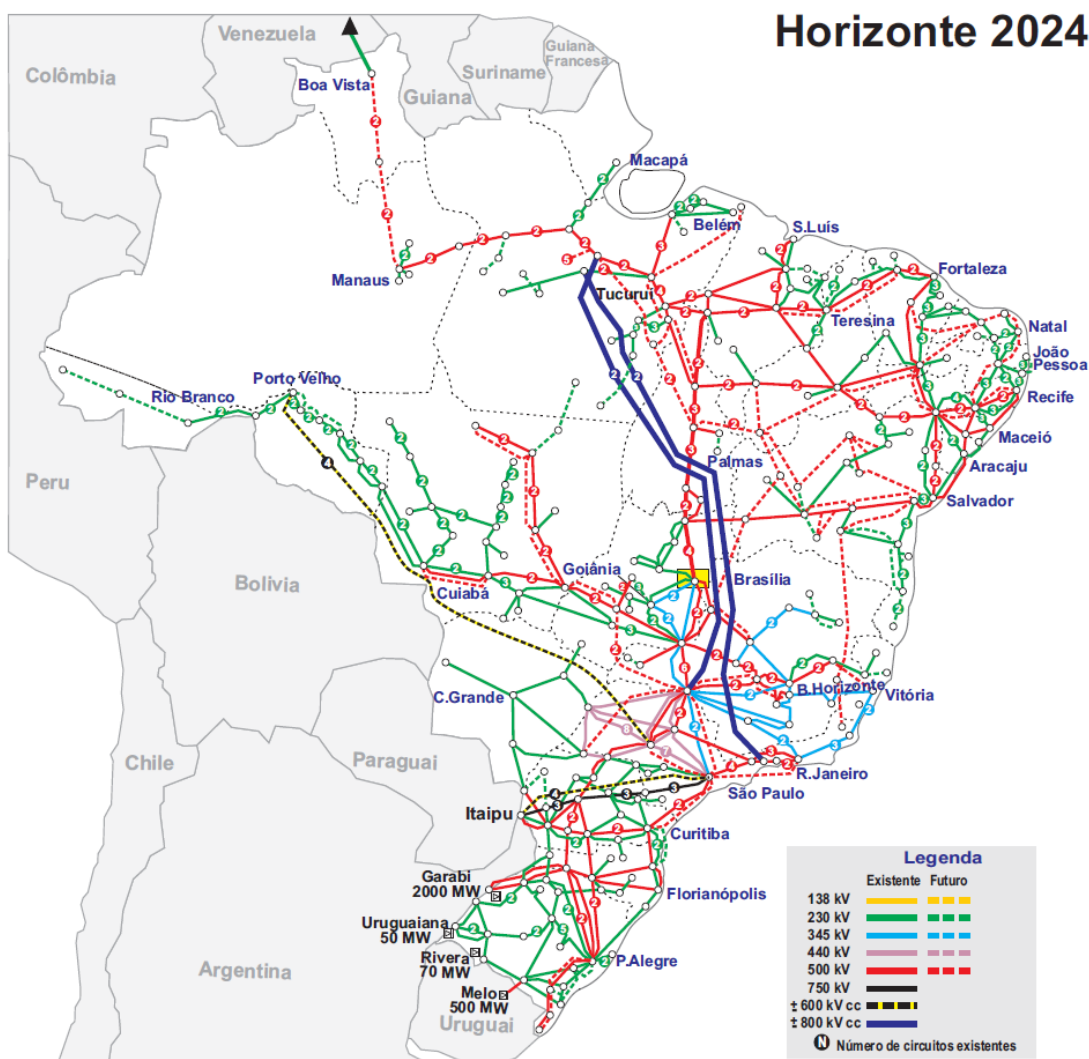


Figura 1 - Malhas de Transmissão do SIN

Fonte: Energês (2020)

A matriz energética do SIN é reconhecida em todo o mundo pelo forte peso das fontes renováveis, com destaque para a hidroeletricidade. Ela vem se expandindo constantemente ao longo dos anos e somente em 2024 teve um aumento de 10,9 GW com 91,13% desse valor provindo das fontes eólica e solar, segundo um levantamento da ANEEL. Com capacidade instalada de 242.914 MW em agosto 2025 e previsão de aumento para 269.161 MW em 2029, o sistema se consolida como o 7º do mundo. A figura 2 nos mostra a geração separada por cada fonte segundo dados da ONS.

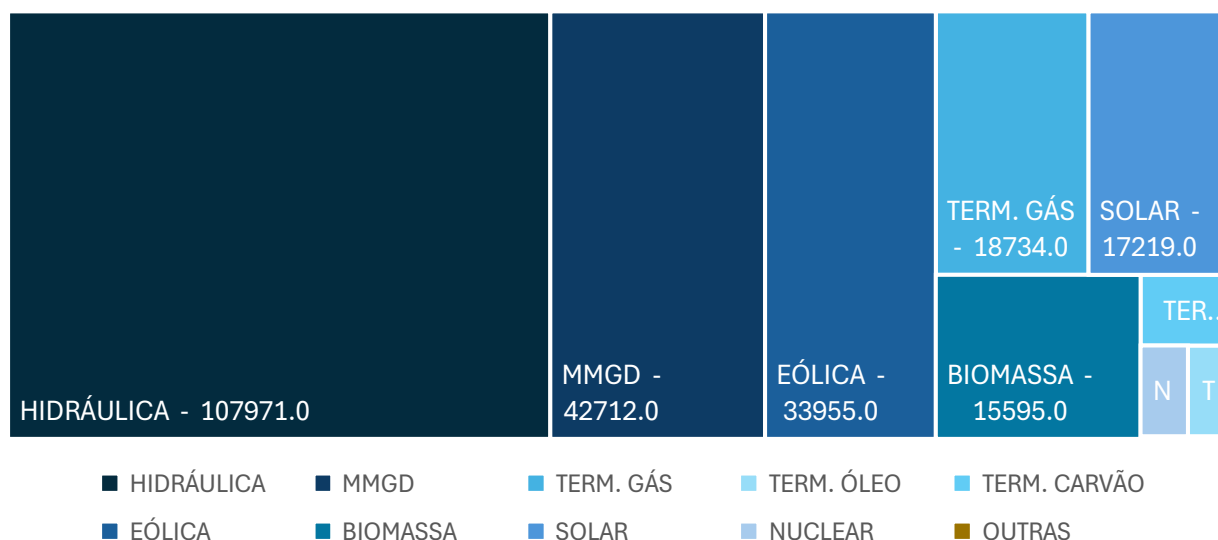


Figura 2 - Geração do SIN por Fontes (GW)

Fonte: Adaptado com dados do ONS, 2025

Nos últimos anos o aumento da capacidade instalada vem sendo puxado pelas renováveis com destaque para a eólica e solar, como pode ser observado na figura 3, devido a diversos fatores como a redução dos custos das tecnologias e políticas públicas de incentivo a sua instalação.

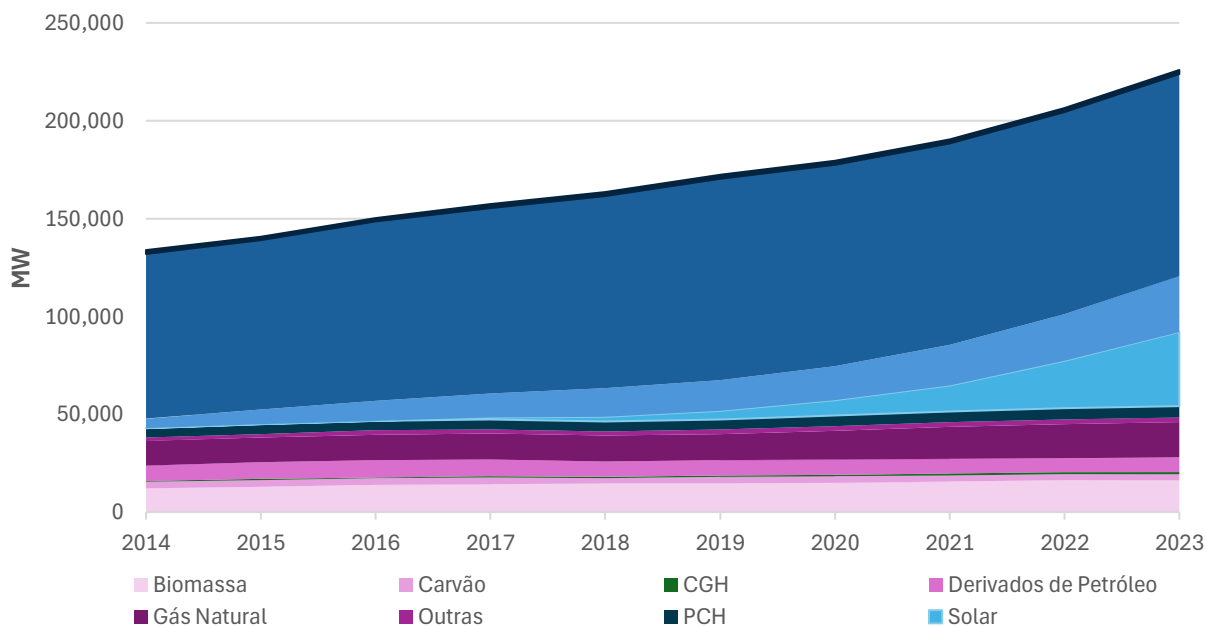


Figura 3 - Evolução da Capacidade Instalada

Fonte: Adaptado com dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2024)

Os números do consumo de energia também mostram as grandes dimensões do Brasil que o colocam em 7º maior consumidor do mundo, registrando mais de 506.000 GWh em 2024. A evolução da eletricidade consumida no sistema vem evoluindo na série histórica, tendo uma média de 4,1% de aumento nos últimos 4 anos, e tem a região Sudeste como principal consumidora, com o Estado de São Paulo tendo mais de 26% do consumo nacional. Na sequência, podemos visualizar os principais Estados consumidores do país bem como a evolução da linha de consumo, respectivamente pelas figuras 4 e 5

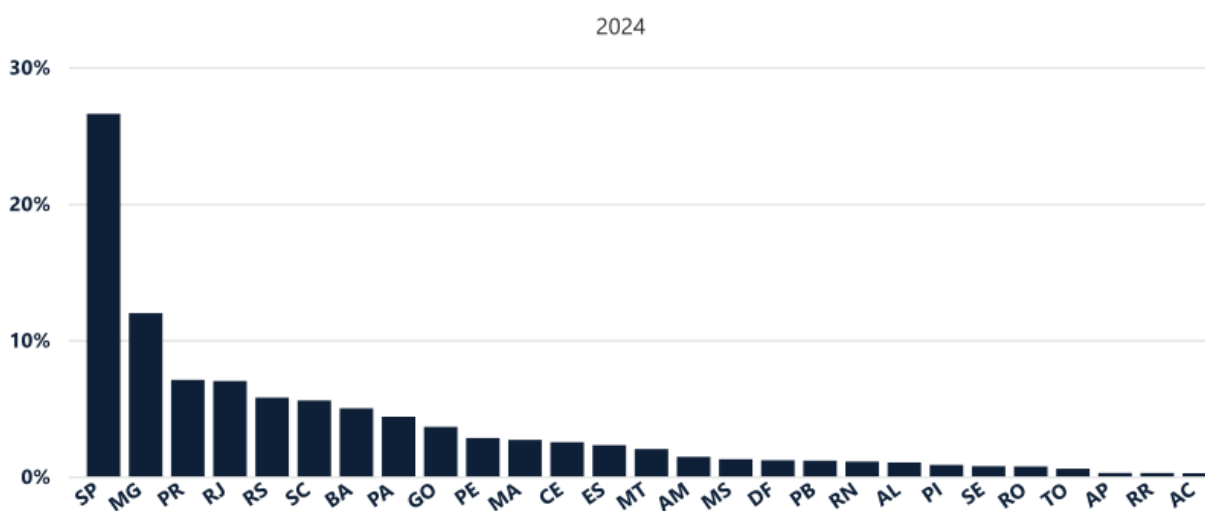


Figura 4 - Participação do Consumo de Energia por Estado Brasileiro

Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2024)

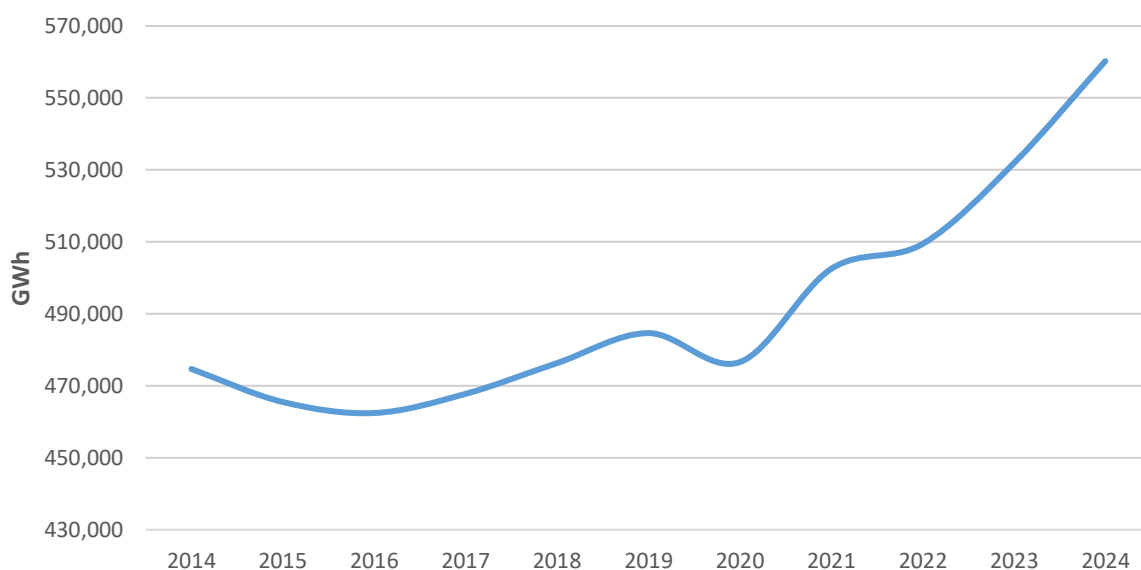


Figura 5 - Evolução do Consumo de Energia Brasil

Fonte: Adaptado com dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2024)

2.1.2 Instituições

O Governo Federal organizou o SEB com um sistema de governança regido por sete instituições principais, de modo a garantir seu funcionamento, conduzindo as políticas públicas que direcionam o setor e garantam o abastecimento elétrico no país. O organograma dessas instituições pode ser visto abaixo na figura 6:



Figura 6 - Divisão Institucional do SE

Fonte: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (2025)

Cada um dos órgãos representados possui designações específicas para a condução efetiva do segmento, elas serão representadas a seguir:

- **Conselho Nacional de Política Energética (CNPE):** Instituído pela lei nº 9.478/97, é um órgão interministerial o qual assessoria o Presidente da República e tem como função formular as políticas e diretrizes de energia de modo a garantir o aproveitamento racional das fontes de energia do país. Ele é efetivamente composto por dez ministros, sendo presidido pelo o Ministro de Minas e Energia, e pode contar com membros da sociedade civil ou representantes de estados que são designados pelo presidente.
- **Ministério de Minas e Energia:** estabelecido em 1960, é um órgão do Governo Federal cujo objetivo principal é a elaboração e implementação de políticas públicas para o setor de energia elétrica. Abrange também funções como conduzir as diretrizes de planejamento para os setores de minas e energia, garantir a universalização do acesso ao uso de energia elétrica, dentre outros (Brasil, 2023).

- Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE): criado em 2004 pela lei nº 10.848, tem a responsabilidade de acompanhar e avaliar a segurança do suprimento elétrico em todo o país. Este órgão é presidido diretamente pelo Ministro de Minas e Energia e composto por membros titulares da ANEEL, Agência Nacional do Petróleo (ANP), Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). O órgão do governo responsável por implementar as decisões estabelecidas pelo CNPE é o Ministério de Minas e Energia.
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE): formada a partir da lei nº 10.847/04 com o objetivo de resgatar a responsabilidade constitucional do Estado nacional em assegurar as bases para o desenvolvimento sustentável da infraestrutura energética do país por meio da produção de estudos e pesquisas para o setor energético (Empresa de Pesquisa Energética, 2025). Suas atribuições abordam a realização de projeções da matriz energética e de estudos para planos de expansão da geração e transmissão no curto, médio e longo prazo, além da elaboração e publicação do balanço energético nacional.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL): estabelecida por meio da Lei nº 9.427/1996 e do Decreto nº 2.335/1997, é uma autarquia vinculada ao MME cujo objetivo é a regulação do SEB. Algumas de suas principais atribuições permeiam a fiscalização dos serviços de energia elétrica, implementação das diretrizes do governo federal e regulação das áreas estruturais do setor (geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia).
- Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS): existente desde 1998 por meio da lei nº 9.648, é o órgão responsável por coordenar e controlar a operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN), bem como pelo planejamento da operação dos sistemas isolados do país. É fiscalizado e regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).
- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica: criada em 2004 pelo decreto nº 5.177, fica subordinada à ANEEL e tem a finalidade de garantir o bom funcionamento da comercialização de energia elétrica. Para esse propósito, a CCEE administra as transações comerciais do mercado brasileiro de energia, desde a realização dos leilões até a contabilização e liquidação dos contratos (CCEE, 2025).

2.1.3 Segmentos

Até a década de 1990, o modelo era caracterizado por empresas verticalmente integradas, majoritariamente estatais, que atuavam em todas as etapas do fornecimento de energia elétrica. Com a abertura do mercado e a busca por maior eficiência e competitividade, a partir da Lei nº 9.074/95 e da Lei nº 9.427/96, foi feita uma separação das empresas nos segmentos de geração, transmissão, distribuição e comercialização, de modo a permitir a entrada de novos agentes privados e incentivando a competição, especialmente na geração

e comercialização de energia. Esse novo modelo organizacional visava garantir maior transparência nas operações, reduzir custos para os consumidores e atrair investimentos para a expansão da infraestrutura elétrica no país. Essa nova segmentação pode ser melhor observado com a exemplificação da figura 7.

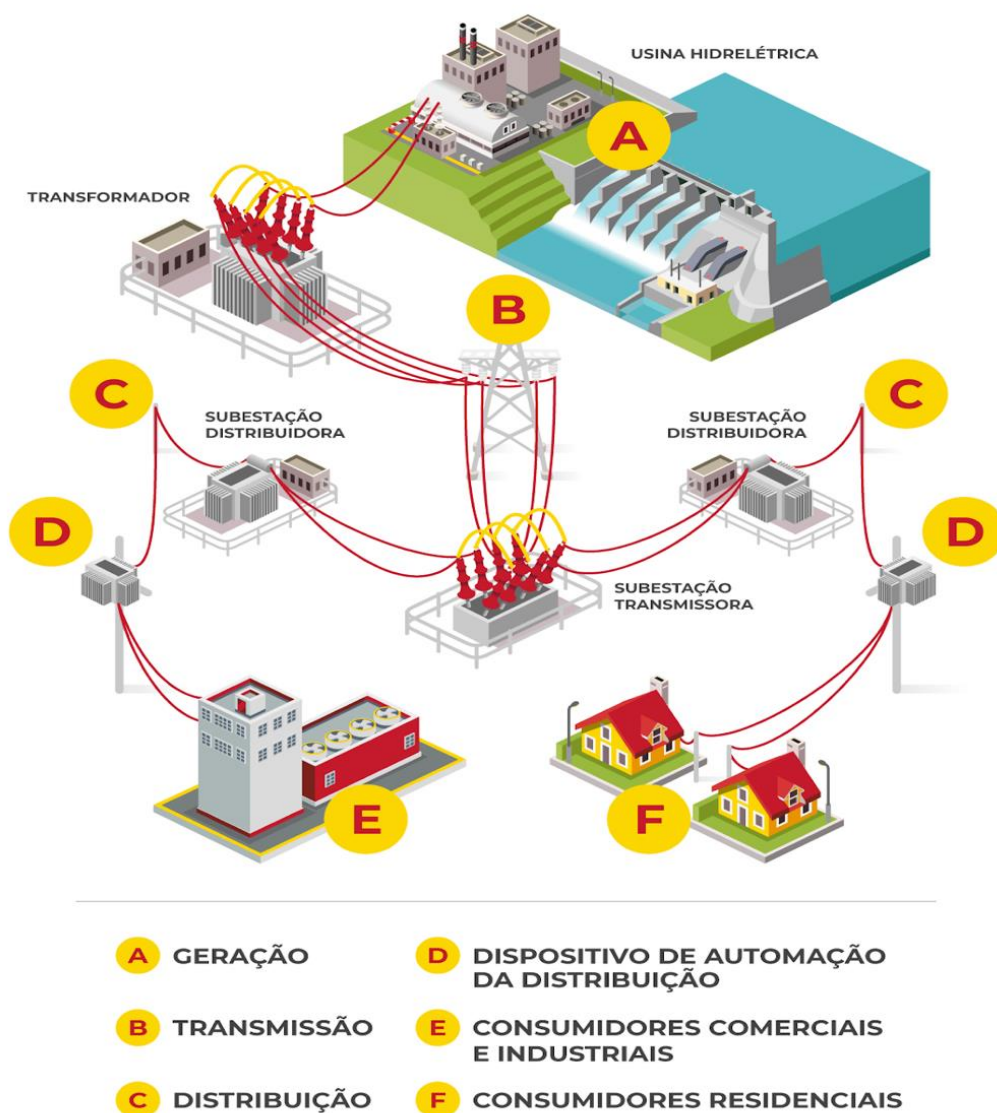


Figura 7 - Segmentos Empresariais do SEB

Fonte: Instituto de defesa do consumidor (2020)

2.1.3.1 Geração

A geração é o segmento responsável pela produção de eletricidade a partir de diferentes fontes, como hidrelétrica, térmica, eólica, solar e nuclear. Com a reestruturação, a geração passou a ser operada tanto por empresas públicas quanto privadas, onde os

geradores, também conhecidos como agentes de geração, podem realizar a compra e venda de energia por meio de contratos regulados ou no mercado livre.

Os geradores ficam submetidos à atuação do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), entidade responsável pela coordenação e controle da operação das usinas no Sistema Interligado Nacional (SIN). O ONS determina quando o despacho das usinas geradoras ocorrerá, priorizando fontes de menor custo, como a hidrelétrica, e acionando usinas térmicas quando necessário para garantir o equilíbrio entre oferta e demanda. Além disso, o operador monitora constantemente os níveis dos reservatórios, as condições climáticas e as restrições à rede de transmissão para assegurar a estabilidade e a confiabilidade do fornecimento de energia elétrica.

2.1.3.2 Transmissão

O segmento de transmissão de energia compete, principalmente, no transporte da energia elétrica do gerador para os grandes centros de carga, a integração entre os diversos elementos do sistema elétrico para garantir estabilidade e confiabilidade da rede. O transporte desse segmento é caracterizado por linhas de alta tensão, com tensões variando de 230 kV a 750 kV, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2025).

É caracterizado por ser um monopólio natural, com concessionárias atuando em áreas geográficas específicas. Sofrendo uma forte regulação pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabelece normas para garantir a qualidade do serviço e organiza leilões de concessão para a construção e operação de novas linhas. O que difere da geração, que possui um ambiente mais competitivo. Assim, as empresas vencedoras dos leilões obtêm concessões para explorar determinado trecho da rede por um período definido, sendo remuneradas por tarifas reguladas.

2.1.3.3 Distribuição

A distribuição de energia elétrica é um serviço público de competência da União, prestado por concessionárias e permissionárias, chamadas de distribuidoras (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2022). É o segmento encarregado pelo fornecimento da energia elétrica ao consumidor final e a outros usuários, fazendo do rebaixamento da tensão proveniente do sistema de transmissão. Seu sistema é composto pela rede elétrica e pelo conjunto de instalações e equipamentos elétricos que operam em níveis de alta tensão (maior ou igual a 69 kV e menor que 230 kV), média tensão (maior ou igual a 2,3 kV e menor que 69 kV) e baixa tensão (menor que 2,3 kV) (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2022).

Assim como as empresas de transmissão, são caracterizadas por um regime de monopólio natural com as distribuidoras possuindo contratos de concessão de normalmente 30 anos, realizada por meio de licitações públicas organizadas pela ANEEL.

2.1.3.4 Comercialização

O segmento de comercialização de energia elétrica teve início a partir de 1995, possibilitando a compra e venda da eletricidade por meio de contratos, operando em dois ambientes distintos: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de

Contratação Livre (ACL). Com isso, os consumidores têm a possibilidade de escolher quem contratar o serviço de fornecimento de energia, caso se encaixem nos requisitos de carga e tensão cujo vem sofrendo uma redução gradual ao longo dos anos.

2.2 MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA

Para as ciências econômicas, mercado é um termo bem amplo cuja interpretação vem evoluindo ao longo do tempo. Segundo Richers (1986), mercado é qualquer oportunidade institucionalizada de contato humano para realizar trocas, sendo um ponto de encontro, físico ou não, que é regularmente procurado por interessados que buscam trocar valores entre si. Deste modo, mercado se faz em um espaço onde entidades compradoras e vendedoras se encontram e definem preços e quantidades para bens e serviços a serem transacionados.

Não diferente, o mercado de energia elétrica se trata de um ambiente em que são realizadas transações envolvendo eletricidade e, como explicado pela definição anterior, definindo seu preço por leis de oferta e demanda, condições da hidrologia, disponibilidade de fontes, dentre outros. A partir dele se fazem as transações de energia elétrica entre os agentes do SEB: geradores, transmissores, distribuidores e consumidores.

Uma característica fundamental do setor elétrico para os demais é que as transações se dão de forma diferente das outras *commodities*, isso deve-se ao fato da energia ainda não ser armazenada e sua disponibilidade deve ser de forma instantânea. Faz se assim necessário competências de engenharia, financeiras e comerciais para sua plena operacionalização (Machado, 2021). Desse modo, o setor elétrico é costumeiramente dividido em dois sistemas: o físico e o contratual.

O sistema físico corresponde à operação técnica do ONS no SIN. Devido às limitações na capacidade das linhas de transmissão, o SIN é segmentado em submercados, que refletem as particularidades regionais da oferta e demanda de energia. O submercado Norte é predominantemente abastecido por usinas hidrelétricas e atua como exportador de energia para outras regiões. No submercado Nordeste, a geração de eletricidade é majoritariamente eólica, e, em determinados períodos, a região precisa importar energia para suprir sua demanda. O submercado Sudeste se destaca pelo alto consumo e depende da importação de energia de outras regiões. Já o submercado Sul possui um perfil hidrotérmico, ou seja, combina fontes hidrelétricas e térmicas, permitindo que atue tanto na importação quanto na exportação de energia, inclusive para países vizinhos. A figura 8 representa a divisão dos submercados pelos estados brasileiros.



Figura 8 - Submercados de Energia no Brasil

Fonte: Witzelr (2021)

Já o sistema contratual é uma entidade independente do fluxo de energia elétrica. Ele é caracterizado por contratos físicos e financeiros que representam a compra ou venda de energia elétrica de qualquer empreendimento, independente de sua localização. Os contratos físicos se referem ao consumo e à produção de eletricidade, enquanto os contratos financeiros de eletricidade são utilizados para mitigação de risco (Machado, 2021).

2.2.1 Agentes

Para atuar operacionalmente no mercado, as empresas precisam se registrar como agentes na CCEE. Elas são distribuídas nas áreas de geração, distribuição e comercialização e sua participação é definida na Convenção de Comercialização de Energia Elétrica, instituída pela Aneel em 2004.

Segundo dados da CCEE (2025), já são mais de 16.000 agentes cadastrados, com a categoria mais representativa sendo a do consumidor especial. Na sequência veremos a figura 9 com a representação da quantidade de agentes presentes e a caracterização de cada uma das entidades.



Figura 9 - Quantidade de Agentes por Class

Fonte: CCEE (2025)

2.2.1.1 Agentes de Geração

Os agentes de geração se constituem das usinas geração de energia elétrica, independente da fonte. Todos estes agentes têm permissão para vender energia tanto no Ambiente de Contratação Regulada (ACR), como no Ambiente de Contratação Livre ACL. Os agentes da categoria podem se subdividir em três categorias:

- Concessionárias de serviço público de geração: são agentes os quais possuem a outorga para o serviço de geração de energia elétrica, adquiridos por meio de licitações. Elas são direcionadas, de modo geral, para o abastecimento do Ambiente de Contratação Regulada, explorando os ativos a título de serviço público.
- Autoprodutor: caracterizados como agentes que produzem energia para consumo próprio, podendo participar da comercialização de energia caso tenha algum excedente desde que esteja autorizado pela ANEEL.
- Produtores independentes: são agentes individuais ou consórcios os quais participam por sua conta e risco no mercado de energia, podendo participar de leilões ou fazer contratos bilaterais com consumidores.

2.2.1.2 Agentes de Distribuição

Os agentes de distribuição são as empresas concessionárias ou permissionárias de energia elétrica, realizando a entrega de energia ao consumidor final mediante tarifas e outras condições reguladas pela ANEEL. Atuam sobre o regime de concessão, sendo atados a uma área específica e adquirem o insumo energético por meio de leilões organizados pela CCEE. Deste modo, as distribuidoras atuam no transporte e comercialização de energia, sendo que no regime atual sua compra fica restrita ao Ambiente de Comercialização Regulado ACR.

Os consumidores presentes na respectiva área de atuação de uma distribuidora devem contratar a energia mediante pagamento de tarifa estabelecida pelo órgão regulador, com exceção dos consumidores que optarem por participar do ACL. Contudo, mesmo que um consumidor faça parte do ACL, ele é obrigado a manter a concessionária ou permissionária local para o serviço de distribuição de energia elétrica.

2.2.1.3 Agentes de Comercialização

A comercialização de energia elétrica, embora não seja considerada uma atividade essencial no setor, exerce um papel de grande relevância dentro do Ambiente de Contratação Livre (ACL). Os comercializadores atuam como elo entre os agentes geradores e os consumidores livres, sem, necessariamente, possuírem ativos de geração.

Uma das principais funções dos agentes comercializadores é gerir os riscos associados ao volume e preço da energia contratada. Com um portfólio diversificado, eles agregam consumidores em escala, viabilizando a contratação de grandes volumes de energia de forma mais atrativa e segura.

Além de negociar energia com geradores e consumidores, os comercializadores também podem realizar transações com outros comercializadores e até com distribuidoras, desde que, neste último caso, a venda ocorra por meio de leilões públicos.

2.2.1.4 Consumidor Cativo ou Regulado

É o consumidor cujo fornecimento de energia elétrica se dá diretamente com a concessionária ou permissionária local, o agente distribuidor, sem a intermediação de outra empresa ou agente qualquer. Deste modo, a contratação de energia da unidade consumidora conectada ao sistema da concessionária, é cobrada através de uma fatura mensal que aborda as tarifas, taxas e bandeiras de acordo com regras e valores estabelecidos pela ANEEL, não sendo possível para o consumidor discutir aspectos contratuais de seu fornecimento energético.

A priori, todo consumidor de energia elétrica no Brasil que é conectado à rede, se apresenta como consumidor cativo, pois o modelo padrão de fornecimento de energia no país prevê que a distribuidora local seja a responsável por atender automaticamente qualquer nova unidade consumidora dentro da sua área de concessão. Portanto, quando a energia de uma casa, loja ou fábrica pela primeira vez, essa conexão é feita por meio da distribuidora regional, que passa a fornecer a energia dentro das regras do mercado regulado.

2.2.1.5 Consumidor Livre

São os consumidores que têm a liberdade de escolher quem será o seu fornecedor de energia elétrica, por meio de contratos que determinam aspectos como volume, preço, prazo e tipo de energia a serem firmados. Eles podem possuir contratos de fornecimento de energia com diversos fornecedores e ainda se mantêm conectados ao sistema de distribuição da concessionária local para que a energia possa chegar até a unidade consumidora. Assim, a figura do consumidor livre possui duas faturas mensais: uma que se dá devido ao fornecimento de energia elétrica e outra devida ao uso do sistema de transmissão/distribuição da concessionária local.

Um consumidor pode fazer a transição de cativo para livre através do chamado processo de migração, que se dá com formalização de uma denúncia de seu contrato com a distribuidora. Para iniciar o processo, que ocorre em várias etapas, o consumidor deve atender requisitos de demanda mínimos. A portaria nº 465 de 2014 do MME estabeleceu que a partir de 2021 a 2023 ocorresse uma redução anual em 500 kW da demanda necessária para se

tornar consumidor livre, sendo que em 2023 poderiam ser livres os com carga igual ou superior a 500 kW. Já com a portaria normativa 50/2022, garantiu a todos os consumidores pertencentes do grupo A a capacidade de migrar independente do volume demandado.

Como dito anteriormente, a abertura para o consumidor livre de comercialização se deu progressivamente através da redução dos requisitos de carga. Isso se traduz com que os consumidores com carga inferior aos limites anteriores passem a ter direito de escolha de fornecedor, conforme a regulamentação avançava. Na tabela 1 abaixo, podemos ver as principais portarias responsáveis por essa abertura gradual e as respectivas datas de liberação para cada grupo de carga.

Tabela 1 - Efeitos das Portarias do MME

Requisito Mínimo de Carga	Portaria MME 514/2018	Portaria MME 465/2019	Portaria MME 50/2022
2500 kW	01/07/2019	-	-
2000 kW	01/01/2020	-	-
1500 kW	-	01/01/2021	-
1000 kW	-	01/07/2021	-
500 kW	-	01/01/2022	-
Todo o Grupo A	-	-	01/01/2024

2.2.1.6 Consumidor Especial

Consumidores especiais são aqueles cuja demanda contratada é igual ou superior a 500 kW. Esses consumidores têm permissão para adquirir energia exclusivamente de fontes incentivadas, como solar, eólica ou biomassa. Para incentivar a migração desse perfil de consumidor para o mercado livre, foi estabelecido um desconto mínimo de 50% na Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD). Deste modo, o consumidor especial tem a possibilidade de negociar e escolher seu fornecedor de energia livremente, mas com a obrigatoriedade de contratar energias de fontes renováveis.

No entanto, com a evolução do processo de abertura do mercado livre de energia no Brasil, observa-se uma tendência de eliminação da categoria de consumidor especial. A partir de regulamentações mais recentes, como a Portaria nº 50/2022 do Ministério de Minas e Energia, todos os consumidores conectados em média tensão passaram a ter o direito de migrar para o mercado livre, independentemente da demanda ou da fonte de energia contratada. Esse cenário indica que, no futuro, a distinção entre consumidor livre e especial tende a desaparecer, consolidando-se uma única categoria de consumidores no mercado livre, com liberdade plena de escolha entre diferentes fontes de energia.

2.2.2 Ambientes de Contratação

Como descrito anteriormente, a Lei nº 10.848 de 15 de março de 2004 introduziu dois ambientes de contratação, o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). Nesses espaços as operações de compra e venda de energia entre os agentes de geração, distribuição, comercialização e consumidores é realizada. A Câmara

de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) é a encarregada pelos registros dos contratos de comercialização depois de homologados ou aprovados pela ANEEL.

A representatividade do ACL vem aumentando ao longo dos anos, já representando mais de 40% do total consumido de energia. A participação dos consumidores entre os dois ambientes se dá de forma bastante heterogênea dentro os estados brasileiros, percebendo-se um avanço maior nos estados da região sudeste, como indicado na figura 10:

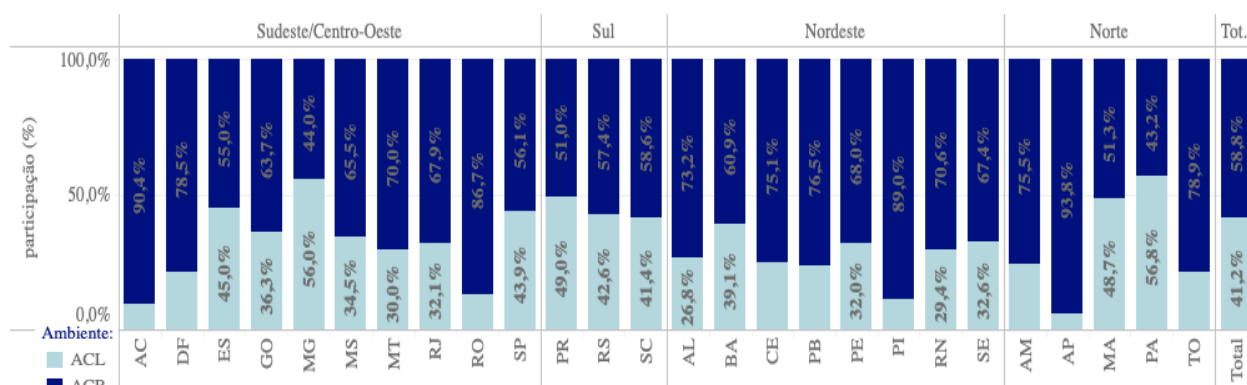


Figura 10 – Participação dos Estados por Ambiente

Fonte: CCEE (2025)

2.2.2.1 Ambiente de Contratação Regulado (ACR)

O Decreto nº 5.163 define o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) como o segmento do mercado no qual a comercialização de energia ocorre entre geradores e distribuidores, garantindo que os mesmos possam suprir integralmente a demanda de seus mercados locais. A compra de energia nesse ambiente é realizada por meio de leilões públicos organizados pela CCEE e promovidos pela ANEEL. Esses contratos, conhecidos como Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado (CCEARs), possuem regras específicas quanto a preço, submercado de registro e prazos de suprimento, além de cláusulas e condições padronizadas que não podem ser alteradas.

Os consumidores atendidos pelos distribuidores nesse ambiente são denominados consumidores cativos, que só podem adquirir energia da distribuidora de sua área de concessão. Eles não têm liberdade para negociar preços ou condições contratuais, sendo obrigados a pagar, pela tarifa vigente, o valor correspondente à energia consumida, já incluídos os custos de geração, transmissão e distribuição.

As tarifas de energia elétrica, definidas pela ANEEL, englobam todos os custos da cadeia de produção e fornecimento de energia, acrescidos de encargos destinados ao financiamento de políticas públicas (Ministério de Minas e Energia, 2023). Além disso, essas tarifas sofrem influência do Sistema de Bandeiras Tarifárias, que indica variações de custo.

2.2.2.2 Ambiente de Contratação Livre (ACL)

O Ambiente de Contratação Livre (ACL), regulamentado pelo Decreto nº 5.163, corresponde ao mercado onde a compra e venda de energia elétrica ocorre por meio de negociações bilaterais entre geradores, comercializadores e consumidores livres ou especiais. Nesse ambiente, as condições dos contratos — como preços, prazos, volumes e demais cláusulas — são livremente estabelecidas entre as partes.

Diferente do que ocorre no Ambiente de Contratação Regulada, o ACL permite ao consumidor a liberdade de escolher seu fornecedor e definir os termos da contratação por meio dos Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Livre (CCEALs). Esses contratos formalizam as operações de compra de energia, assegurando maior flexibilidade quanto a preços, quantidade contratada, tipo de energia e período de fornecimento.

Segundo Ribeiro (2015), a migração para o ACL depende de requisitos mínimos de demanda contratada e nível de tensão, sendo motivada principalmente por benefícios financeiros quando há possibilidade de reduzir os custos com energia. A autora destaca ainda que, no mercado livre, o consumidor não é obrigado a firmar contratos de longo prazo ou contratar energia proveniente de novos empreendimentos, o que amplia a autonomia na gestão do insumo energético.

O ACL, portanto, oferece diversas vantagens em relação ao mercado cativo. Entre elas, Mota (2015) aponta a possibilidade de reduzir custos por meio da negociação direta de preços e condições, a previsibilidade dos gastos com energia por meio de contratos de médio e longo prazo, e a oportunidade de gerir o consumo como um fator estratégico, incluindo a venda de excedentes no Mercado de Curto Prazo quando o Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) estiver favorável.

2.3 TEORIA DE DIFUSÃO DE INOVAÇÃO

O assunto difusão de inovações é um tema de ampla abordagem e que desperta grande interesse, principalmente para a indústria, onde entender o porquê determinados produtos são largamente adotados se fez uma importante questão, indagada no seu começo pelo francês Gabriel de Tarde, por volta de 1903, buscando saber os principais aspectos que determinariam a difusão de um novo produto/tecnologia na sociedade. Desde então, estudos vêm sendo realizados na literatura pelas mais diversas óticas, com os focos variando entre elementos econômicos, sociais, tecnológicos ou psicológicos para a disseminação.

Nesse campo de pesquisa, a principal definição dos processos difusivos de inovação foi elaborada pelo americano Everett M. Rogers em 1962 com a publicação da obra: *Diffusion of Innovations*, sendo o livro de referência para a área até então. Rogers (2003) estabelece a difusão de inovação como um processo de comunicação entre determinados canais, ao longo de um período de tempo e dentro de um sistema social.

A difusão e adoção de uma inovação não fica restrita apenas segundo o caráter tecnológico da inovação. Ou seja, é insuficiente a condição de uma inovação ser superior tecnologicamente para ser adotada, mas outras características da inovação (citados mais a frente) e a necessidade de comunicação entre os membros de um sistema social, tornam este processo um processo sócio-técnico (GEELS, 2018).

2.3.1 Características para Inovações

Segundo Luna (2020), os indivíduos aceitam ideias inovadoras em diferentes tempos e também se espalham a diversas taxas entre os indivíduos. Tentando explicar o porquê algumas inovações são disseminadas com maior velocidade à detrimento de outras, e também por que algumas não logram êxito, a Teoria da Difusão propõem cinco características que determinam o sucesso de uma inovação. Estas características ajudam na redução de incertezas na hora da decisão da adoção por parte do usuário e também nas incertezas de sucesso pela óptica do ofertante (Rogers, 2003). São elas:

a. Vantagem Relativa

A vantagem relativa refere-se ao grau em que uma inovação é percebida como superior em comparação à prática ou tecnologia anterior, sob a ótica dos próprios usuários. Essa percepção pode envolver aspectos como benefícios econômicos, aumento de prestígio social, maior conveniência ou elevação da satisfação pessoal. Importa destacar que essa avaliação não se baseia em critérios objetivos definidos por especialistas ou agentes de mudança, mas sim na percepção individual dos potenciais adotantes. Em geral, quanto maior a vantagem relativa percebida, maior tende a ser a taxa de adoção da inovação;

b. Compatibilidade

Compatibilidade diz respeito à medida em que a inovação se alinha aos valores, experiências prévias e necessidades dos possíveis adotantes. Quando uma nova ideia é percebida como compatível com o contexto vivido pelo indivíduo, sua adoção tende a ocorrer com maior facilidade, favorecendo a difusão da inovação;

c. Complexidade

Esse atributo está relacionado à dificuldade percebida no entendimento e no uso da inovação. Quanto mais simples for a nova ideia aos olhos do usuário, mais rapidamente ela será adotada. Por outro lado, inovações que exigem o desenvolvimento de novas habilidades ou conhecimentos tendem a apresentar taxas de adoção mais lentas;

d. Experimentação

Trata-se da possibilidade de testar a inovação em pequena escala antes de uma adoção definitiva. Essa característica é relevante porque reduz a incerteza percebida pelos usuários e contribui para a aceitação da novidade. Inovações que oferecem essa possibilidade tendem a ser adotadas com maior confiança;

e. Observabilidade

Observabilidade ou visibilidade refere-se à facilidade com que os resultados do uso da inovação podem ser percebidos por outros. Quanto mais visíveis forem esses resultados, seja para o próprio usuário ou para indivíduos em seu círculo social, maior será a probabilidade de adoção. Além de reduzir incertezas, a visibilidade estimula o compartilhamento de informações sobre a inovação, fortalecendo o processo de difusão.

2.3.2 Curva de Distribuição

Deste modo, a teoria da difusão da inovação busca compreender de que forma novas ideias, comportamentos ou tecnologias se propagam entre os indivíduos por meio das redes sociais e de comunicação interpessoal. Parte-se do princípio de que, uma vez que os primeiros usuários compartilham sua experiência com outros membros do grupo social, esse processo se repete em cadeia, promovendo uma disseminação progressiva da inovação. Esse mecanismo, em muitos casos, assume uma dinâmica exponencial, refletida graficamente por uma curva em formato sigmoide (em “S”). Tal padrão de adoção pode ser dividido em três estágios distintos: inicialmente, observa-se uma fase de crescimento lento, marcada pela adesão dos chamados inovadores e adotantes iniciais; em seguida, ocorre uma fase de rápida expansão, impulsionada pelo aumento da visibilidade e aceitação da inovação; por fim, a curva tende à desaceleração, à medida que o mercado se aproxima da saturação ou quando surgem alternativas mais avançadas que substituem a solução vigente.

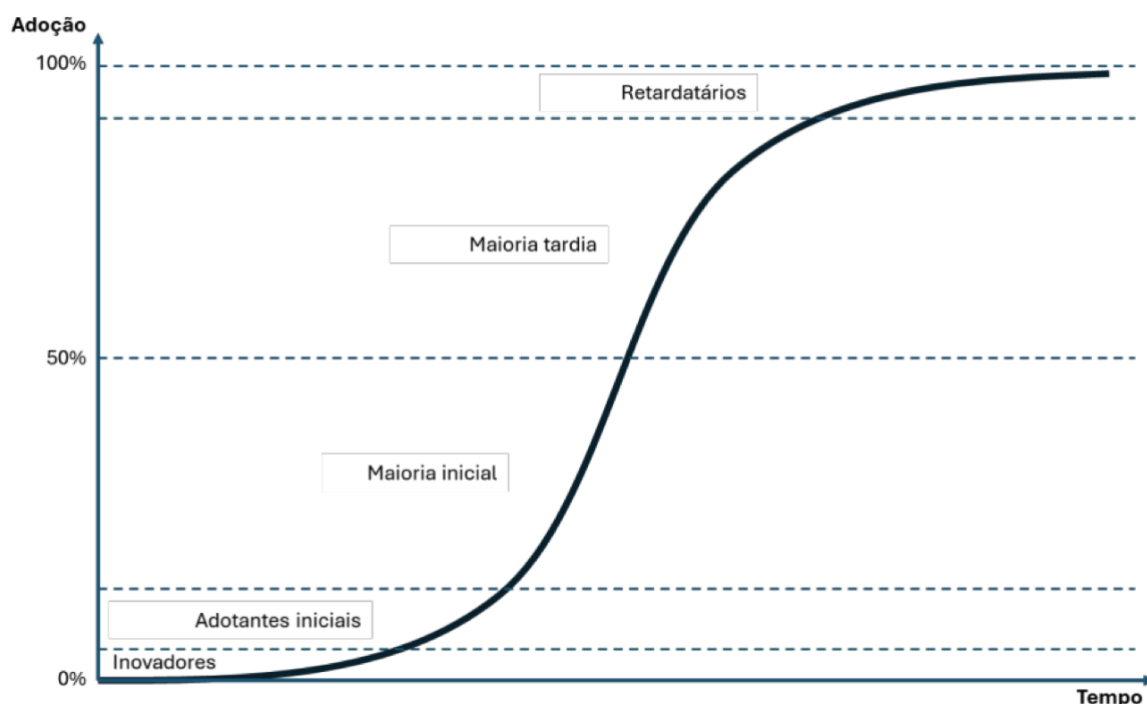


Figura 11 – Curva de Adoção da Inovação

Fonte: NOTA TÉCNICA EPE-DEA-SEE-009-2025 (2025)

Conforme ilustrado na Figura 11, o processo de difusão de uma inovação inicia-se com a adesão de um pequeno grupo de indivíduos, os inovadores, que estão dispostos a experimentar a novidade antes de qualquer validação social. Com o tempo, à medida que os benefícios da inovação se tornam mais evidentes, ela passa a ser adotada pelos formadores de opinião, que desempenham papel estratégico na disseminação da ideia dentro do sistema social. A ativação das redes interpessoais nessa etapa impulsiona significativamente a propagação, fazendo com que a curva de adoção assumo o formato sigmoide, característico do modelo. Esse ponto de inflexão, que ocorre geralmente quando entre 10% e 20% da população já aderiu à inovação, é considerado crítico: uma vez superado, o avanço da difusão

tende a se tornar irreversível. No entanto, à medida que mais indivíduos adotam a inovação e o sistema se aproxima da metade de adesão, o ritmo de crescimento começa a desacelerar. Isso ocorre porque os potenciais novos adotantes tornam-se progressivamente mais escassos, dificultando a continuidade do processo na mesma intensidade inicial (Kozen, 2014).

Podemos observar esse comportamento de função sigmoide em diversos produtos e serviços, com preços heterogêneos. Consequentemente, cada objeto terá uma velocidade de adoção diferente, variando seu formato e inclinação. Nota-se que com o decorrer do tempo as novas difusões estão acelerando, isto é, as curvas se materializam com inclinações mais acentuadas de modo a atingir seu platô em um menor intervalo de tempo. Logo abaixo, na figura 12, podemos ver a curva de difusão realizada por diversos produtos no mercado norte americano.

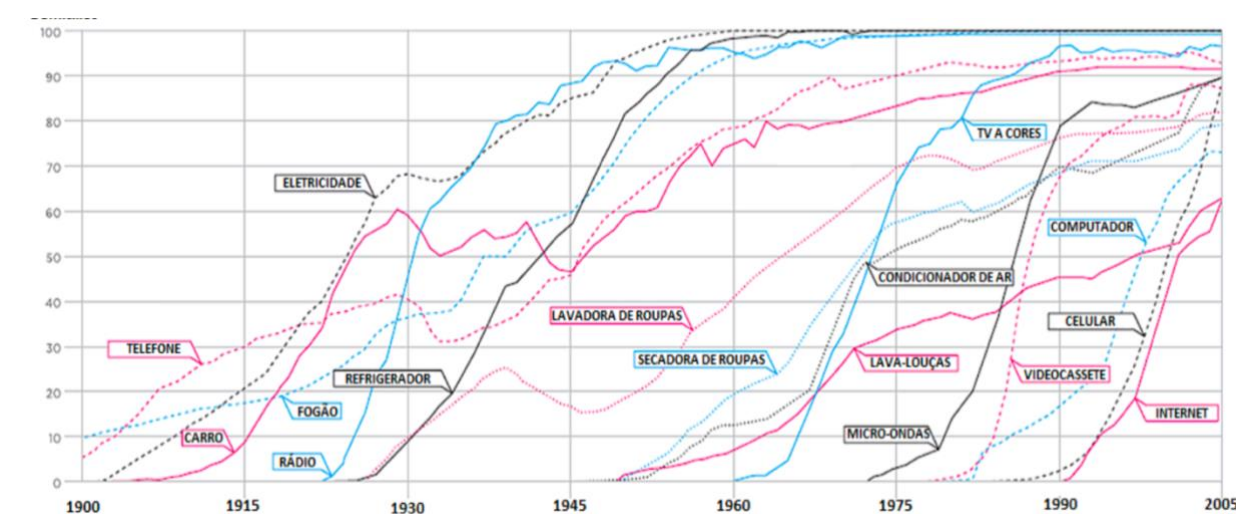


Figura 12 – Curva de Adoção de Tecnologias nos EUA

Fonte: NOTA TÉCNICA EPE-DEA-SEE-009-2025 (2025)

2.3.3 Classificação de Adotantes

Conforme previamente representado na figura 11, existe uma subdivisão em cinco categorias de adotantes, estas identificadas por Rogers (2003), que representam os padrões basilares entre esses grupos de adotantes. Como já mencionado, Rogers elabora sua teoria com ênfase em aspectos psicológicos e sociológicos e essas divisões refletem esses aspectos.

Assim as escaladas das ideias e tecnologias podem ser segmentadas nos seguintes cinco grupos distintos, conforme o grau de predisposição à adoção de novas ideias ou tecnologias: inovadores, adotantes iniciais, maioria inicial, maioria tardia e retardatários. Cada um desses segmentos apresenta características próprias, refletindo diferentes atitudes em relação ao risco, à mudança e à aceitação do novo. É relevante destacar que essa classificação não implica em uma transição dos indivíduos entre os grupos ao longo do tempo; ao contrário, considera-se que os membros permanecem estáticos em seus respectivos perfis. A difusão ocorre, portanto, não por meio da conversão dos indivíduos, mas sim à medida que a inovação evolui e se adapta para atender às expectativas e necessidades específicas de cada segmento da população (Konzen, 2014).

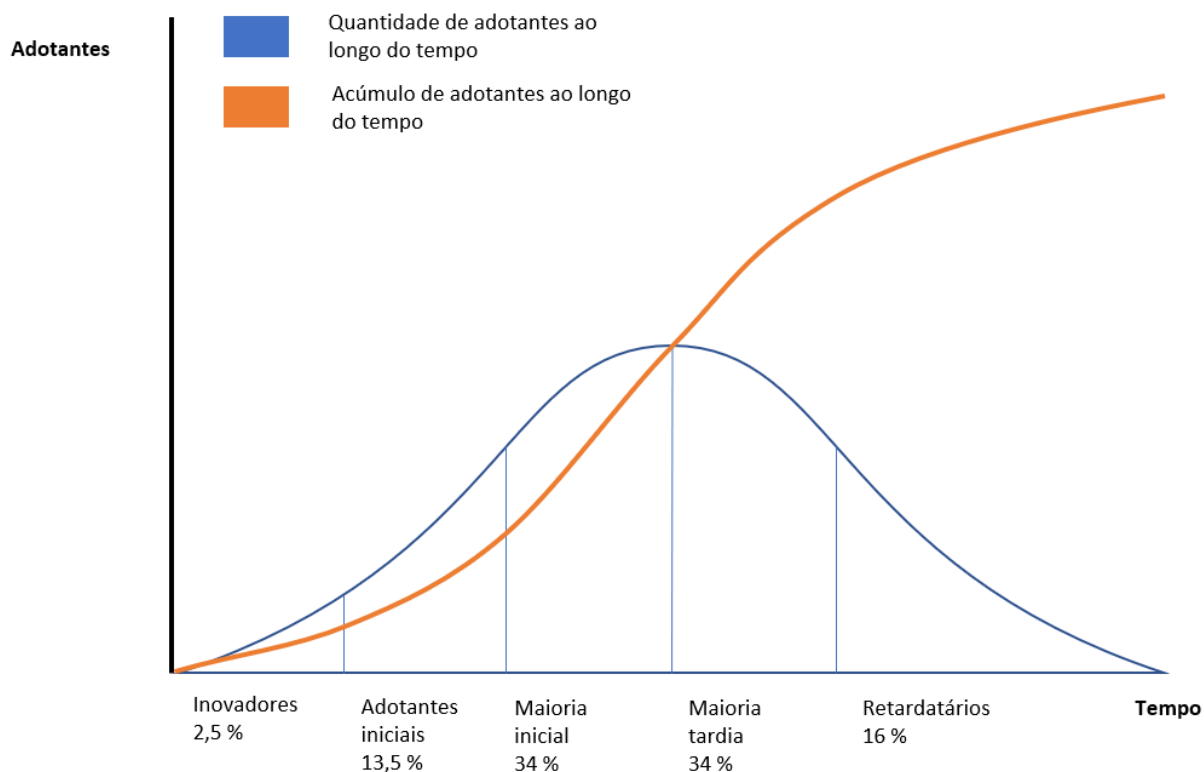


Figura 13 – Curva de Difusão por Dupla Representação

Fonte: Luna, Tiago (2020)

Na figura 13 acima, a linha laranja mostra a soma ou acúmulo de adotantes de uma inovação no decorrer do tempo, caracterizando a curva em formato de “S”. Já a linha azul representa o valor de novos adotantes no tempo. Deste modo, podemos associar a linha laranja como sendo a soma de todos os valores da linha azul que precedem o determinado período em questão. As categorias dos novos usuários são representadas na parte inferior, com uma relativa parcela de participação que exercem em relação ao total.

Cada um dos cinco segmentos apresenta características comportamentais distintas, refletindo diferentes atitudes frente à adoção de inovações. É importante destacar que esses grupos não são concebidos como categorias dinâmicas ou transitórias, ou seja, não se espera que os indivíduos migrem de um segmento para outro ao longo do tempo. Pelo contrário, assume-se que os perfis permanecem relativamente estáveis dentro do sistema social. Assim, a difusão de uma inovação ocorre à medida que ela evolui e se adapta para atender às expectativas, valores e necessidades específicas de cada grupo, alcançando gradualmente toda a população-alvo (KONZEN, 2014). Na tabela abaixo podemos ver as características de cada um dos grupos:

Tabela 2 – Caracterização dos Perfis de Adotantes

Segmento	Perfil	Motivação para Adoção	Relação com o Risco	Influência Social
Inovadores	Visionários, criativos, experimentadores	Interesse por novidade, disposição para explorar o desconhecido	Muito baixa (assumem riscos)	Baixa (influenciam, mas são poucos)
Adotantes Iniciais	Líderes de opinião, bem informados, financeiramente estáveis	Vantagem competitiva, reconhecimento social	Relativamente baixa	Alta (forte influência social)
Maioria Inicial	Pragmáticos, cautelosos, seguidores de tendências consolidadas	Provas concretas de benefício, segurança na escolha	Moderada	Moderada
Maioria Tardia	Conservadores, desconfiados, evitam mudanças	Pressão social, medo de ficar para trás	Alta	Baixa a moderada
Retardatários	Tradicionalistas, céticos, resistentes a mudanças	Necessidade extrema, ausência de alternativas	Muito alta	Muito baixa

2.4 MODELAGEM MATEMÁTICA DE DIFUSÃO TECNOLÓGICA

Os processos de difusão de inovações tecnológicas se caracterizam apresentando dinâmicas complexas, com diversos fatores endógenos e exógenos interagindo ao longo do tempo. Compreender essa evolução requer abordagens capazes de capturar não apenas o comportamento das variáveis envolvidas, mas também as relações causais que as conectam. Nesse contexto, a técnica de Dinâmica de Sistemas emergiu como a principal ferramenta de modelagem para analisar sistemas complexos, caracterizados por feedbacks, atrasos e não linearidades. Desenvolvida por Jay Forrester no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), a Dinâmica de Sistemas busca compreender o comportamento de sistemas ao longo do tempo por meio da construção de modelos estruturados em diagramas causais e fluxos quantitativos.

Aplicada ao estudo da difusão tecnológica, essa técnica permite representar o processo de adoção como um sistema composto por estoques, o número acumulado de adotantes, e fluxos, como a taxa de novas adoções. Assim é possível simular diferentes cenários e testar políticas de intervenção, bem como analisar o impacto de variáveis como esforço de marketing, influência interpessoal, disponibilidade financeira, entre outras que estão relacionadas a um sistema em questão.

Entre os diversos modelos matemáticos desenvolvidos para explicar a difusão de tecnologias, destaca-se o Modelo de Bass, proposto por Frank Bass em 1969. Desde então, o modelo de Bass tem sido o modelo de difusão de maior utilização nos estudos de difusão

de novos produtos, pois ele é capaz de gerar uma boa representação na maioria dos caso processos de difusão de novos produtos, mesmo em sistemas mais complexos com uma grande a quantidade de fatores que influenciam o comportamento do mercado (Figueiredo, 2012).

2.4.1 Dinâmica de sistemas

Segundo Sterman (2000), a aplicação da técnica de Dinâmica de Sistemas se desenvolve em cinco etapas principais:

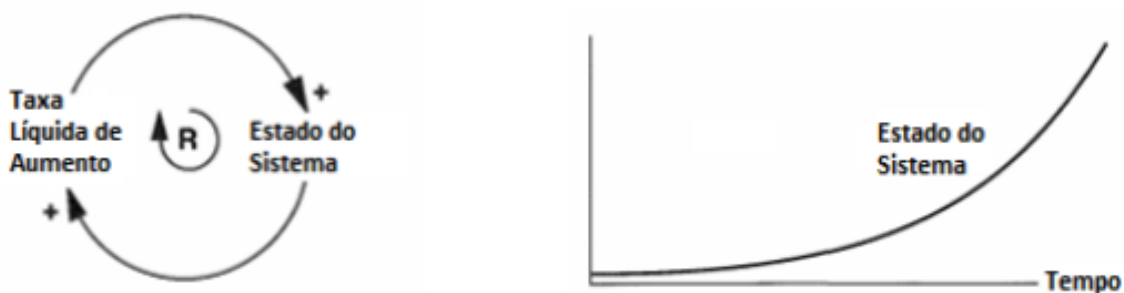
- a. Definição do problema;
- b. Construção do diagrama de laço causal;
- c. Elaboração do diagrama de estoque e fluxo;
- d. Análise das simulações;
- e. Formulação e avaliação de políticas.

a. Identificação e Definição do Problema

Esta primeira etapa corresponde à delimitação do sistema a ser analisado e à formulação da hipótese dinâmica. Isso envolve a determinação das variáveis que representam o estado do sistema, a definição do horizonte de tempo apropriado e a construção do Modo de Referência, um gráfico que esboça a evolução temporal esperada de uma ou mais variáveis principais do sistema. Sempre que possível, dados históricos são utilizados como base empírica para validar a hipótese inicial e orientar a construção do modelo.

b. Construção do Diagrama de Laço Causal (DLC)

O Diagrama de Laço Causal é uma representação qualitativa que ilustra como as



variáveis do sistema estão inter-relacionadas por meio de enlaces causais. Ele destaca a presença de laços de realimentação, que podem ser positivos (reforço) ou negativos (estabilização). Um enlace positivo indica que uma mudança em uma variável provoca uma mudança na mesma direção em outra; já um enlace negativo indica uma relação inversa. As figuras 14 e 15 mostram esquematicamente esses enlaces:

Figura 14 - Retroalimentação Positiva

Fonte: Fernandes, Gustavo (2019)

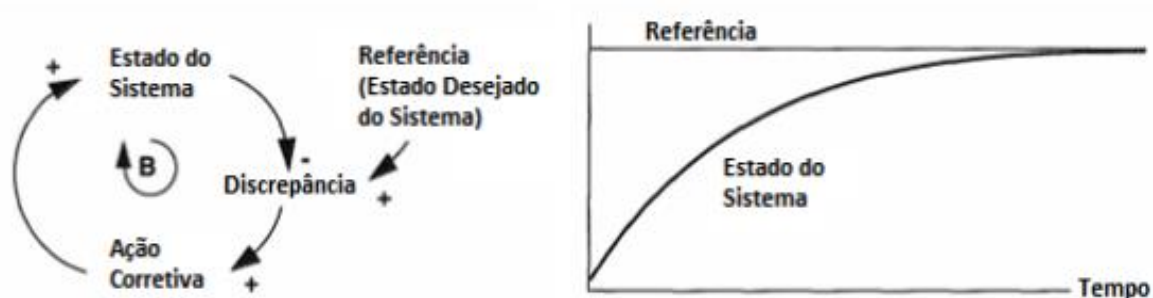


Figura 15 - Retroalimentação Negativa

Fonte: Fernandes, Gustavo (2019)

Em sistemas reais, as formulações geralmente englobam soluções que misturam a combinação simultânea de inúmeros laços positivos e negativos. Nesse contexto, vale comentar que essa técnica é aplicada em sistemas dinâmicos da engenharia mecânica, como em um sistema massa, mola e amortecedor clássico.

A presença de atrasos também pode ser representada nos enlaces, permitindo capturar comportamentos mais realistas do sistema. O DLC é fundamental para entender a estrutura sistêmica antes de avançar para a modelagem quantitativa.

c. Construção do Diagrama de Estoque e fluxo (DEF)

Com base no DLC, constroi-se o Diagrama de Estoque e Fluxo, que formaliza o modelo de maneira quantitativa. O DEF permite simular o comportamento do sistema ao longo do tempo e identificar os impactos das diferentes políticas ou intervenções. Os estoques representam os estados acumulados do sistema, enquanto os fluxos determinam as taxas de entrada e saída desses estoques. Além disso, são utilizadas variáveis auxiliares e constantes para representar relações intermediárias e parâmetros fixos, respectivamente.

Segundo Strauss (2010), essa dinâmica pode ser didaticamente compreendida utilizando a metáfora de uma banheira: a torneira representa o fluxo de entrada, a banheira representa um estoque e o ralo representa um fluxo de saída. Podendo-se então dizer que o volume de água na banheira depende dos fluxos no sistema, mas também o estoque (água na banheira) determina os fluxos, pois eles caracterizam a principal fonte de informação para tomada de decisão. Se a banheira está muito cheia, em geral fecha-se um pouco a torneira antes que esta transborde.

A notação mais comum para representar as estruturas de estoque e fluxo é o chamado Diagrama de Estoque e Fluxo, com a versão básica sendo apresentada na figura 16, a seguir:

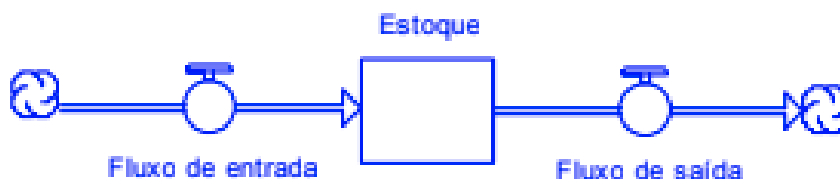


Figura 16 - Diagrama de Estoque e Fluxo

Fonte: adaptado de iseesystems (2010)

Análiticamente, os estoques são descritos por equações diferenciais integradas no tempo, e representam a memória e a inércia do sistema. Sua equação genérica se dá por:

$$Estoque(t) = \int_{t_0}^t [Fluxo\ de\ entrada(t) - Fluxo\ de\ saída(t)]dt + Estoque(t_0) \quad (1)$$

Com esta equação pode-se visualizar a acumulação até o instante corrente “t” partindo do tempo inicial “t₀”. Onde os fluxos de entrada e saída são descritos em função de um tempo “t” qualquer.

d. Análise das Simulações

Nesta fase, o modelo é implementado em um software de Dinâmica de e submetido a simulações. Os resultados são comparados com o Modo de Referência, e sua validade é verificada por meio de testes como:

- Testes de Condições Extremas: avaliam o comportamento do modelo sob parâmetros irrealistas, garantindo sua consistência estrutural.
- Análise de Sensibilidade: verifica como variações nos parâmetros críticos afetam os resultados do modelo, fornecendo uma medida de robustez.

Estes testes são fundamentais para garantir que o modelo proposto responda tenha uma representação fidedigna com o que ocorre na realidade.

É importante destacar que, embora a reprodução de dados históricos seja desejável, o principal objetivo da simulação é compreender a estrutura causal do sistema e explorar cenários futuros.

e. Formulação das Políticas de Avaliação

A última etapa envolve a criação e o teste de políticas de intervenção com base no modelo. Pequenas alterações em parâmetros como atrasos, metas ou coeficientes podem ser introduzidas para observar seu impacto no comportamento do sistema. Políticas mais

complexas, onde mudanças estruturais nos laços de realimentação sejam implementadas, também podem ser simuladas, mas necessitam de uma maior análise e cuidado. Os resultados das políticas são então comparados com o Modo de Referência, permitindo avaliar a eficácia de cada intervenção em atingir os objetivos desejados.

2.4.2 Modelo de Bass

Como já mencionado, o modelo de Bass foi proposto em 1969 por Frank Bass e é o modelo mais utilizado em diversas literaturas, como nos estudos de marketing, contando com diversas modificações e extensões. Sua versão original foi baseada nos estudos anteriores de Rogers (1969), servindo como uma contribuição matemática e analítica à teoria de difusão de inovações (Konzen, 2014).

Conforme Luna (2020), a difusão se dá principalmente por dois canais: mídia de massa e relacionamento interpessoal. O modelo elaborado por Bass utiliza esses dois fatores no desenvolvimento de sua formulação que emula um processo de difusão. Sua modelagem parte das bases da dinâmica de sistemas com seu DEF sendo ilustrado na figura 17:

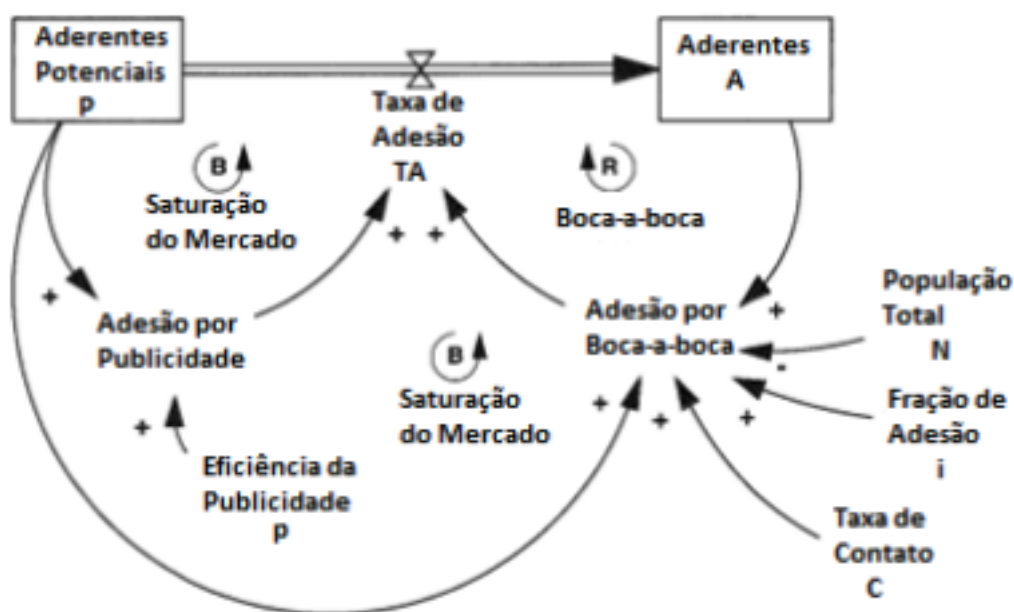


Figura 17 - DEF do Modelo de Bass

Fonte: Fernandes, Gustavo (2019)

Com sua equação basilar sendo:

$$f(t) = [p + q F(t)][1 - F(t)] \quad (2)$$

Onde:

$f(t) \rightarrow$ é a probabilidade de adoção no tempo t ;

$p \rightarrow$ é o coeficiente de inovação. Representando a influência externa ao processo de difusão, adesão por publicidade;

$q \rightarrow$ é o coeficiente de imitação. Representando a influência interna ao processo de difusão, adesão boca-a-boca;

$F(t) \rightarrow$ é a distribuição acumulada.

Essa modelagem tem a vantagem de ser classificada como um modelo top-down, que aborda a difusão por meio de variáveis macro e desce progressivamente para níveis mais detalhados do sistema, sendo uma boa abordagem para planejamento e estratégia. Contudo, tal abordagem nos limita no quesito de análises de cenário como alterações de preços, regulamentações entre outros parâmetros. Tendo em vista uma análise mais apurada, diversos autores na literatura propõem modificações na formulação original para a inclusão de outros parâmetros.

2.4.3 Outros Modelos

Como apresentado em um relatório elaborado pela Sociedade para Cooperação Internacional (GIZ, 2020), apesar da ampla predominância do modelo de Bass na literatura, vale destacar que existem outras famílias de curvas sigmóides paramétricas que também podem ser utilizadas para representar o processo de difusão de inovações. Essas alternativas permitem, de forma análoga ao modelo de Bass, que seus parâmetros sejam calibrados a partir de dados históricos, empregando métodos estatísticos como o de mínimos quadrados não linear. Cada uma dessas famílias apresenta formulações matemáticas próprias, que descrevem diferentes dinâmicas de adoção ao longo do tempo.

Contudo, esses modelos foram derivados usando técnicas essencialmente matemáticas e geralmente acabam não tendo uma eficácia tão assertiva quanto o modelo de Bass que é fundamentado pela dinâmica de sistemas. A Tabela 3 sintetiza algumas dessas funções sigmóides, juntamente com os parâmetros que caracterizam o seu comportamento.

Tabela 3 – Modelos Alternativos Usados em Processos de Difusão

Modelo	Função de Difusão F(t)	Parâmetros
Logístico	$F(t) = \frac{m(t)}{(1 + e^{-g*(t-t_0)})}$	g : velocidade de difusão t_0 : tempo de máxima difusão
Gompertz	$F(t) = m(t) * e^{-k*e^{-g*t}}$	k : parâmetro de carga de capacidade g : velocidade de difusão
Shifted Gompertz	$F(t) = m(t) * (1 - e^{-g*t}) * e^{-k*e^{-g*t}}$	g : velocidade de difusão k : parâmetro de formato
Gamma/Shifted Gompertz (GSG)	$F(t) = m(t) * (1 - e^{-g*t}) * (1 - \theta * e^{-g*t})^{-k}$	g : velocidade de difusão θ : parâmetro de escala k : parâmetro de forma

3. METODOLOGIA

Nesta seção será apresentada toda a metodologia que foi utilizada para o desenvolvimento do presente trabalho, trazendo a forma como o problema foi abordado e passando por cada um dos procedimentos e a das premissas que foram empregados. Também, são detalhadas as etapas e explicadas as ferramentas que foram utilizadas.

3.1 MERCADO POTENCIAL

A definição do mercado potencial é um dos elementos centrais para a aplicação de modelos de difusão da inovação, como o modelo de Bass, pois ele é o valor de referência onde a sigmoide para seu crescimento, o chamado “teto”. No contexto da migração para o mercado livre de energia elétrica no Brasil, é fundamental compreender não apenas o tamanho atual do público-alvo, mas também sua dinâmica de crescimento ao longo do tempo e os limites práticos de adoção que podem ser observados, conforme experiências internacionais e restrições regulatórias nacionais.

Este tópico tem como objetivo estruturar a base quantitativa necessária para a aplicação do modelo de difusão. Para isso, primeiramente é apresentada uma estimativa do mercado potencial (3.1.1), seguida da análise do crescimento desse mercado ao longo do tempo (3.1.2) em decorrência da evolução regulatória. Por fim, é discutida a definição do teto de saturação (3.1.3), representando o limite superior realista de adoção, essencial para parametrizar corretamente o modelo.

3.1.1 Estimativa do Mercado Potencial

Para realizar a estimativa do mercado potencial (m) é necessário saber a quantidade de UCs que existem no SEB que fazem parte do grupo A, assim, foram levantados dados obtidos através da Base de Dados Geográfica da Distribuidoras (BDGD) disponibilizado em 2022. A BDGD constitui um modelo geográfico simplificado do sistema elétrico real da concessionária, desenvolvido com o propósito de representar, de forma integrada, a configuração atual dos ativos físicos, bem como as informações técnicas e comerciais relevantes para a operação e o planejamento da rede de distribuição (ANEEL, 2023).

Feito isso, pode-se realizar a segmentação dos consumidores que se enquadram na alta tensão e a exclusão de UCs que não se enquadram no perfil de migração para o MLE, como consumo próprio das distribuidoras e poder público.

3.1.2 Crescimento do Mercado Potencial

Com o objetivo de tornar a projeção mais realista e aderente ao comportamento observado em mercados reais, foi implementada uma extensão metodológica conforme sugerido por Sterman (2000) em *Business Dynamics*, permitindo que o mercado potencial, representado por m , varie ao longo do tempo, isto é, $m(t)$.

Para realizar essa dinâmica, adotou-se a premissa de que o crescimento do mercado potencial está atrelado ao crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. Nesse sentido, utilizou-se uma projeção de PIB desenvolvida internamente por uma empresa do

setor de energia, a qual serviu como base para a evolução do mercado potencial $m(t)$. Essa abordagem permite incorporar um limite de mercado variável, evitando a suposição de um ponto de saturação fixo, uma condição raramente observada em mercados reais em andamento.

3.1.3 Limite de Migração

Mesmo já possuindo $m(t)$, observou-se que, apesar ter um potencial regulatório definido, fatores técnicos e econômicos estabelecem limites práticos inferiores a esse potencial, como levantado em relatórios pela ABRACEEL.

Corroborando isso, experiências internacionais mostraram que a migração efetiva dos consumidores raramente atinge 100% do potencial técnico. A exemplo da Irlanda, após mais de duas décadas de liberalização, a participação da ESB (Electric Supply Board), estatal que detinha o monopólio do mercado no país, viu seu de fornecimento cair para 40%, mostrando que uma parcela significativa dos consumidores permaneceu com o fornecedor tradicional, mesmo com a possibilidade de migração (Eolas, 2025).

Tais evidências nos obrigam a reduzir o potencial teórico $m(t)$. Para tal, foi utilizada a abordagem de realizar análises comparativas com a prática em mercados internacionais mais maduros e com estudos setoriais sobre o perfil da demanda e condições da expansão no Brasil.

3.2 COMPORTAMENTO DA MIGRAÇÃO

Os modelos de difusão de inovação consideram um perfil geral dos consumidores que estão adotando a tecnologia ou produto para que, assim, possam estimar seus parâmetros. Isso pode ser facilmente observado no próprio modelo de Bass, com os parâmetros p e q significando respectivamente a influência externa e a influência interna no processo difusivo, como já descrito anteriormente. Intuitivamente pode ser entendido que tais coeficiente delimitam um perfil específico de usuário.

Normalmente os mercados são homogêneos, sem graduação e efeitos muito relevantes de influências externas. Em contrapartida, o mercado de energia se mostra muito mais complexo, possuindo fortes influências externas, como as mudanças regulatórias, variações de preço da energia, dentre outros fatores. Isso torna o processo de sua modelagem ainda mais complicado que o tradicional. Por isso, se viu a necessidade de entender o seu comportamento antes da aplicação do modelo.

3.2.1 Estudo do Histórico de Migração

Para identificar os fatores exógenos que influenciam no nosso sistema, a estratégia adotada foi analisar o comportamento da série histórica das migrações. Deste modo, os dados foram segmentados mês a mês para uma melhor visualização.

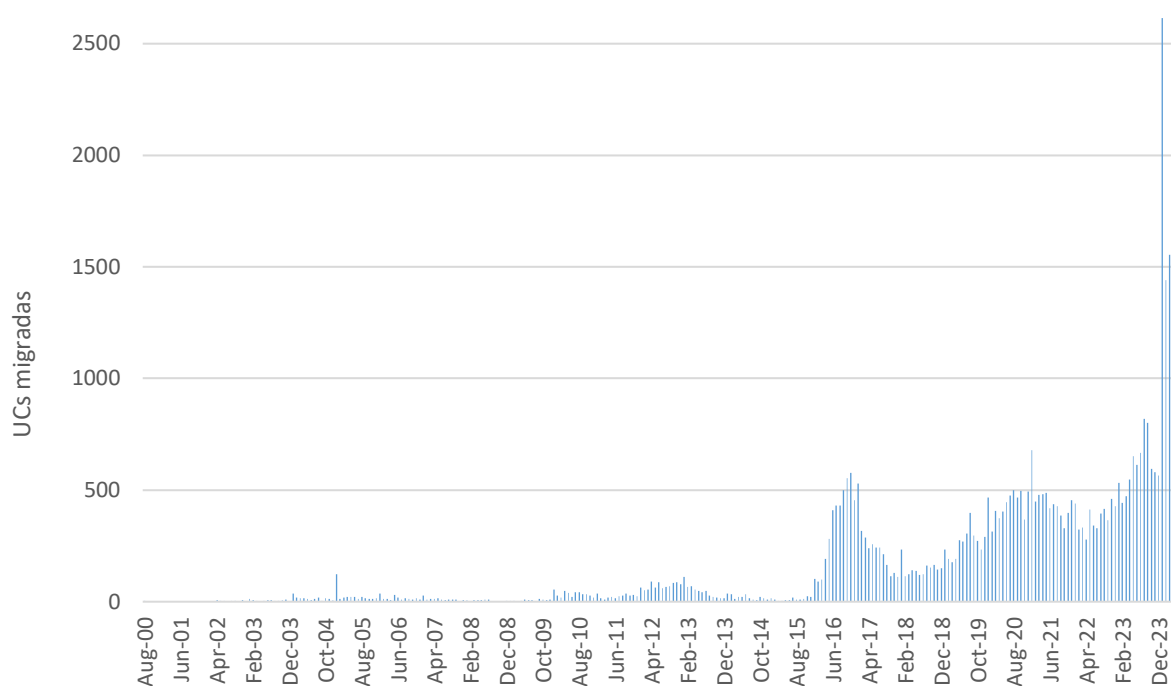


Figura 18 – Adotantes Mensais no MLE

Acima podemos observar o histórico de migração desde os anos 2000. Pode-se notar que as mudanças para o MLE só passaram a ganhar significatividade depois de Agosto de 2015. Visto isso, foi estudado o período desta data em diante.

Conseguimos encontrar padrões de comportamento que se formam em quatro períodos específicos e ainda notar que em cada um deles temos uma distribuição normal. Caracterizamos então, três ciclos com esse formato, representados na figura 19, abaixo:

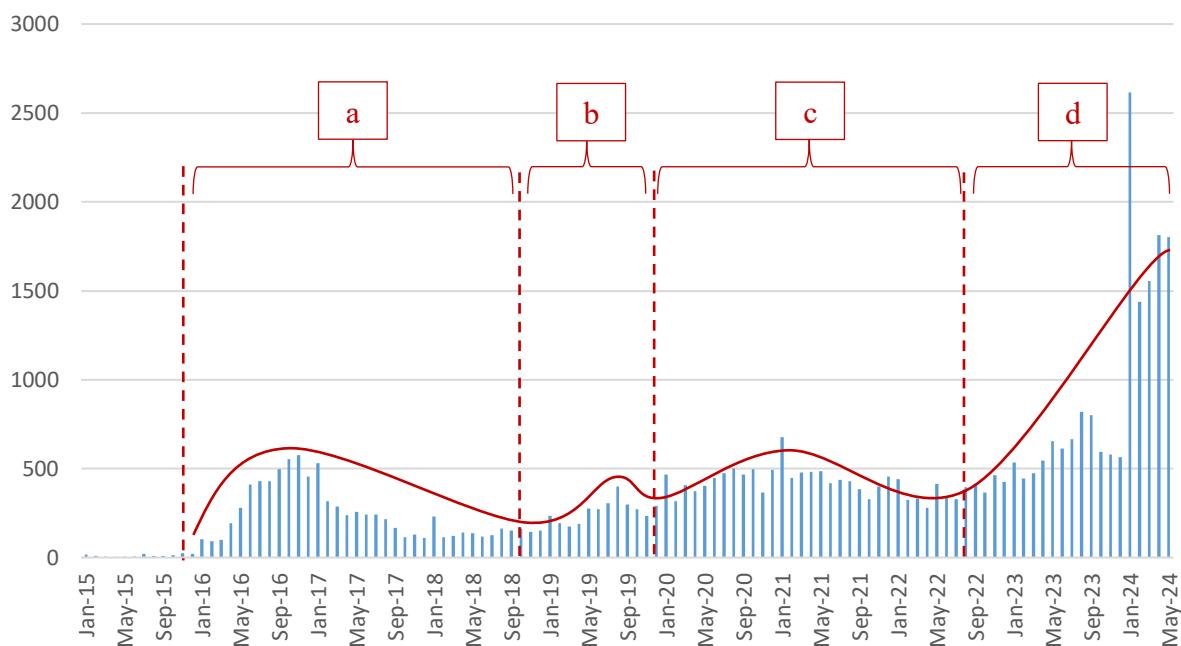


Figura 19 – Ciclos de Adoção

Fazendo uma análise mais aprofundada de cada um dos períodos em que ocorrem as mudanças de ciclos, foi possível encontrar eventos que tiveram grande repercussão e consequentemente influência para o setor. São eles:

- a. Grandes aumentos tarifários (2015/16): ocasionou mais de 40% de elevação nas contas de eletricidade. Isso levou muitos consumidores a buscarem alternativas mais baratas para a energia, aumentando o fluxo de migração para o MLE;
- b. Portaria 514/18/MME: instituiu a abertura gradual para a alta tensão, ditando entrada de consumidores de carga igual ou superior a 2.500kW a partir de julho 2019 e entrada de consumidores de carga igual ou superior a 2.000kW partir de janeiro 2020;
- c. Portaria 465/19/MME: instituiu a entrada de consumidores de carga igual ou superior a 1.500kW a partir de janeiro 2021, a entrada de consumidores de carga igual ou superior a 1.000kW partir de janeiro 2022 e a entrada dos consumidores com carga igual ou superior a 500kW a partir de janeiro de 2023;
- d. Portaria 50/22/MME: termina a abertura da alta tensão para o MLE, ditando que a partir de janeiro de 2024 os consumidores com carga inferior a 500kW poderiam ingressar no mercado.

Conseguimos dizer que esses marcos tiveram uma clara influência no comportamento de adoção do mercado livre de energia. Eles por si próprios acabam por gerar um novo ciclo de difusão, conseguindo estimular de maneira significativa a taxa de adoção. É interessante notar que as reações a esses eventos já se mostram presentes sem *delays* consideráveis.

Tendo em vista o entendimento das dinâmicas de difusão do mercado, foi estabelecido como ponto inicial para aplicação do modelo a data na sequência da publicação da Portaria 50/22/MME. Assim, outubro de 2022 é visto como o ponto de começo da modelagem.

3.3 APLICAÇÃO MODELO DE BASS

Como já discutido, o modelo de Bass foi o selecionado para representar a curva de difusão pois é o mais utilizado e com maior aceitação na literatura. Sua representação matemática pode ser simplificada, como mostrada por Gohs e Massiani(2015), por:

$$F(t) = \frac{(1 - e^{-(p+q)t})}{(1 + \frac{q}{p}e^{-(p+q)t})} \quad (1)$$

Onde

$p \rightarrow$ é o coeficiente de inovação;

$q \rightarrow$ é o coeficiente de imitação;

$F(t) \rightarrow$ é a distribuição acumulada da probabilidade de adoção.

Nota-se que ao iniciar o processo de difusão, $F(t)$ possui valores baixos, deste modo o crescimento é puxado pelo coeficiente de inovação " p ". Conforme a difusão progride, $F(t)$ aumenta e o coeficiente " q " passa a ser mais relevante (Konzen, 2014).

Para obter o número acumulado de adotantes, a taxa de de distribuição acumulado no tempo é multiplicada pelo mercado potencial momentâneo. Como representado pela equação abaixo:

$$N(t) = m(t) * F(t) \quad (2)$$

Onde

$F(t) \rightarrow$ é a distribuição acumulada da probabilidade de adoção;

$m(t) \rightarrow$ é o mercado potencial no instante " t ";

$N(t) \rightarrow$ é o número de adotantes acumulado no tempo.

Ainda, para se analisar em que momento de pico da curva de adesão, é empregada a segunda derivada da equação (x). Resultando em:

$$t_{m\acute{a}x} = \frac{1}{(p+q)} * \ln \frac{q}{p} \quad (3)$$

Partindo dessas equações estabelecidas, a modelagem da curva de difusão foi realizada utilizando o software Excel e sua ferramenta de Gradiente Reduzido Generalizado (GRG) não linear para reduzir a soma dos erros quadrados e gerar o ajuste da curva.

Da mesma forma também foram testados os outros modelos paramétricos apresentados na seção de metodologia, buscando validar o modelo de Bass como a melhor opção para a confecção da curva e seguintes análises.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

O presente capítulo discutirá os valores encontrados para potencial de mercado aparente e a confecção dos cenários de migração aplicando o modelo de Bass.

4.1. RESULTADOS DO POTENCIAL DE MERCADO

Após a extração dos dados e aplicação da primeira etapa metodologia proposta, obteve-se o valor inicial de 165.673 UCs para 01/2024, predominantemente nas regiões Sul e Sudeste. Já o crescimento do PIB, segundo os dados da empresa parceira, foi de aproximadamente 2,5% ao ano no período de 2022 à 2033, o qual foi o horizonte estabelecido para o projeto.

Para o estabelecimento do teto de saturação, os estudos mostraram que para essa faixa de tensão, todo o grupo A, o perfil de cliente é predominantemente empresarial e, apresenta uma alta competitividade e adoção considerável devido a fatores como economia e competitividade para o segmento. Deste modo o percentual de aceitação foi estabelecido como 80% do valor prévio de 165.673, consequentemente resultando no número final de 132.538 UCs viáveis para efetuar a transição do ACR para o ACL.

Portanto, esse valor base seguido o crescimento proposto foi utilizado para a confecção do estudo. Vale destacar que esse valor só foi utilizado a partir de 2024, onde no período de 2022 a 2024 o potencial liberado era menor, sendo estimado em 109.492 UCs totais mas com a redução de 80% esse valor ficava somente em 87.593. Tal potencial de mercado é representado na figura 20 mostrada em sequência.

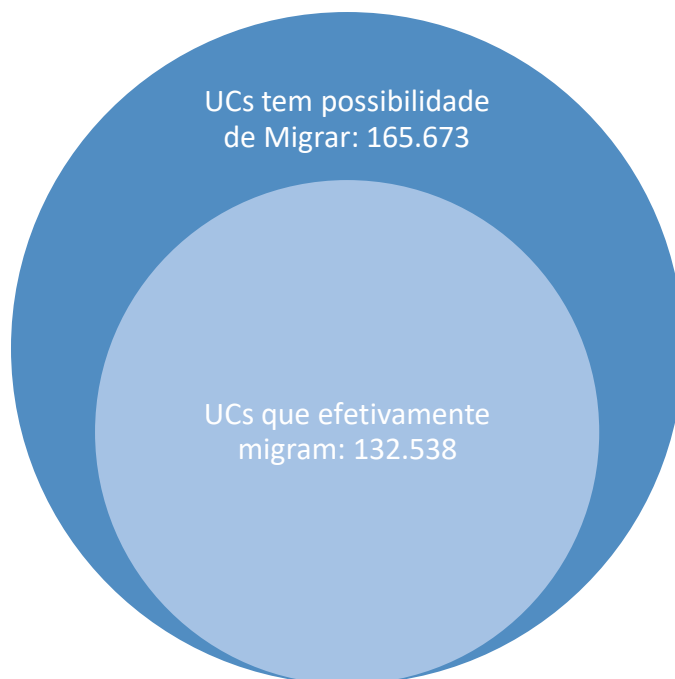


Figura 20 – Mercado Potencial

Ao longo do procedimento os números foram comparados com valores de outros estudos realizados pela EPE e CCEE, onde mostraram-se semelhantes. Essas comparações com outros estudos nos mostram que a metodologia empregada é condizente com a realidade.

4.2. AJUSTE DO MODELO

Com os resultados de potencial de mercado obtidos é possível seguir com a aplicação dos modelos de difusão. Seguindo a metodologia desenvolvida, para fazer o ajuste da curva aos modelos através do levantamento do histórico de migração e a inserção do potencial de mercado dos consumidores cativos.

Deste modo, o histórico de migração foi iniciado a partir da data de início do ciclo proposto e representado na metodologia, portanto, de começo em 01/10/2022. O potencial também varia de acordo com a liberação ocorrida em janeiro do ano de 2024, onde ocorre um salto de 90.667 UCs para 132.538.

Aplicando as equações já deduzidas e apresentadas anteriormente, o ajuste das curvas foi elaborado por meio da técnica do GRG. A figura 21 mostra as projeções de cada um dos cinco modelos testados e, na sequência a tabela 4 traz os valores das métricas de adequação aos dados históricos.

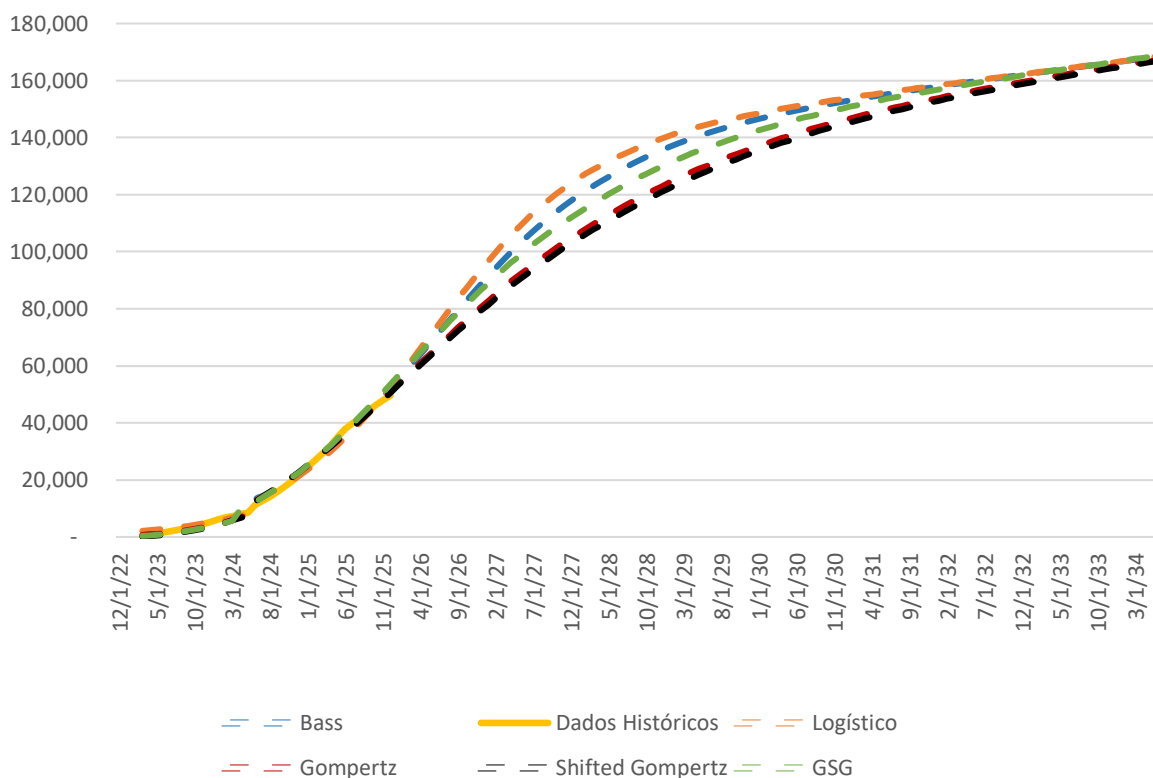


Figura 21 - Comparativo do Ajuste Entre Modelos de Difusão

Tabela 4 - Métricas de Ajuste

Métricas	Bass	Logístico	Gompertz	Shifted Gompertz	GSG
R^2	0,99525	0,99196	0,99561	0,99511	0,99393
MAPE	10,61%	32,38%	14,00%	19,96%	19,21%

Como pode-se observar pelo R^2 , todos os ajustes são bem caracterizados mostrando a fidedignidade das sigmóides na representação dos processos difusivos. Como esperado, o MAPE revela a maior eficácia do modelo de Bass perante os demais, apresentando valor de 10,61%, o que comprova o melhor ajuste do modelo o classificando como o mais eficaz para a realização do estudo.

4.3. ANÁLISES VIA APLICAÇÃO DE BASS

Na realização do ajuste dos dados levantados, um ponto crucial é a seleção dos parâmetros “p” e “q” que definem, no aspecto matemático, o atraso e a inclinação da curva, respectivamente. Segundo o trabalho de Jeuland (1994, apud MAHAJAN et al., 1995), o valor de “p” se situa habitualmente entre 0 e 0,01 e o valor de “q” fica na faixa de 0,3 e 0,5. Contudo, o valor de “q”, pode variar mais devido a diferenças significativas entre cada produto ressaltado, como mostrado em um estudo da EPE em 2021, com seu valor sendo recomendado entre 0 e 1. Seguindo isso, as restrições estabelecidas podem ser vistas na tabela 5 a seguir:

Tabla 5 – Restrição dos parâmetros “p” e “q”

p (inovação)	q (imitação)
$0 < p \leq 0,01$	$0 \leq q \leq 1$

Feito isso partiu-se para a elaboração da difusão tecnológica, sendo realizados três cenários. O cenário feito através do ajuste gerou a curva base do processo e, a partir dele, foram feitas variações nos parâmetros “p” e “q” para cima, curva acelerada, e para baixo, curva lenta. Obtendo os seguintes valores mostrados na tabela 6:

Tabela 6 – Adoção dos parâmetros “p” e “q”

Cenário	p (inovação)	q (imitação)
Ajuste	0,00328	0,07896
Acelerado	0,00394	0,09475
Lento	0,00263	0,06317

Na figura 22 podem ser visualizados as taxas nos diferentes cenários de adoção, podemos observar os pontos onde a taxa de adoção é máxima nas datas de 01/06/25, 01/02/26 e 01/12/26, respectivamente para o acelerado, ajuste e lento.

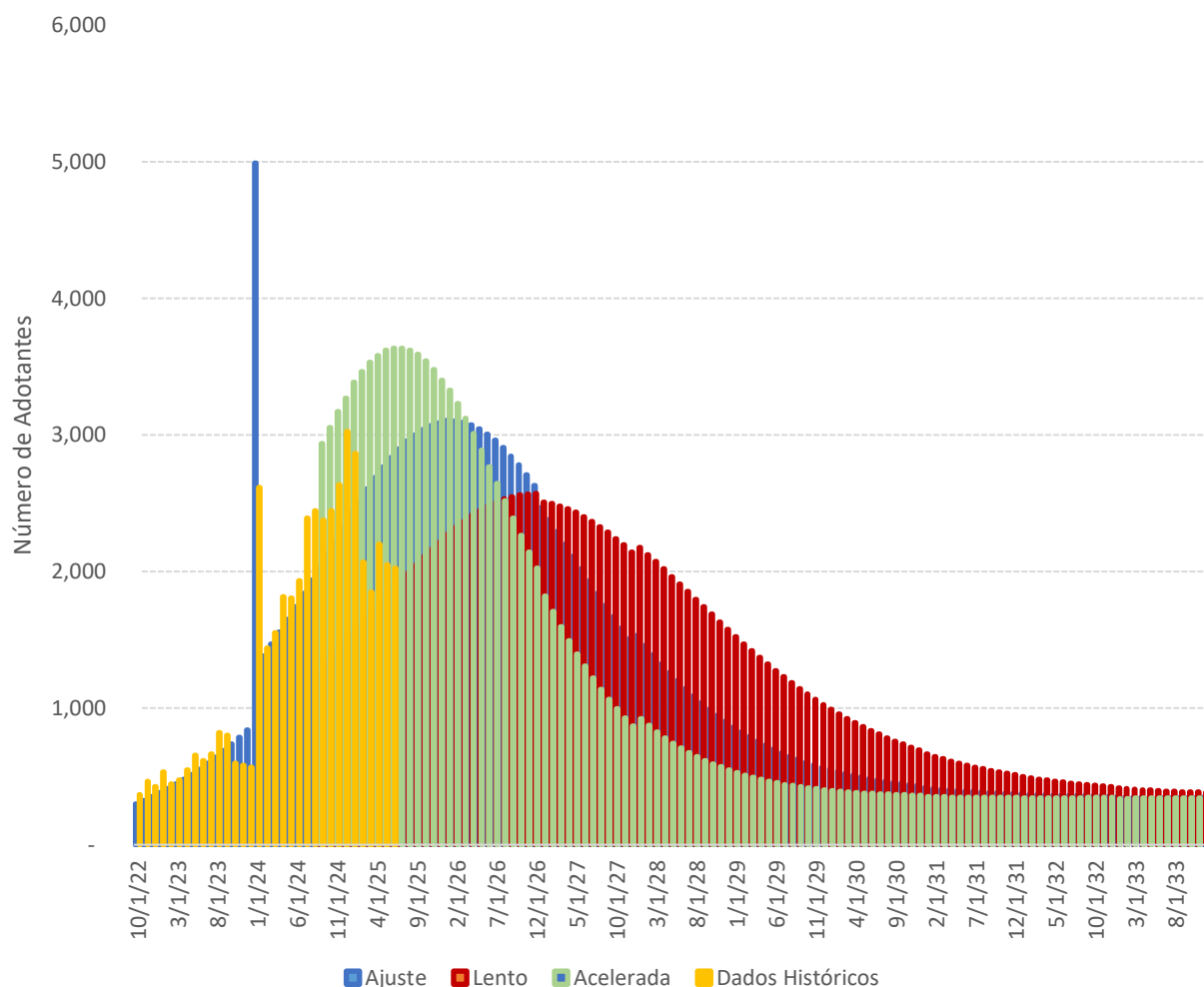


Figura 22 - Cenários com Modelo de Bass

Destaca-se um pico de adoção em 01/01/24, momento em que se deu a abertura total do mercado, explicado pelo aumento do potencial de mercado. Esse pico também é captado pelo modelo de Bass ajustado, em azul, apesar de se mostrar com um valor teórico superestimado em relação ao apresentado de fato.

Também é observado que o ajuste da curva tem uma tendência a subestimar a taxa de adoção até a data de 2025, a qual a partir dali ele atua com um efeito inverso.

Já a figura 23, em sequência, mostra a adoção acumulada, onde pode-se observar o comportamento geral da difusão e seus pontos de saturação. A projeção ajuste tende a acompanhar o crescimento orgânico do mercado, estabilização no teto, depois de 2030, a acelerada em meados de 2028 e a lenta somente em 2033.

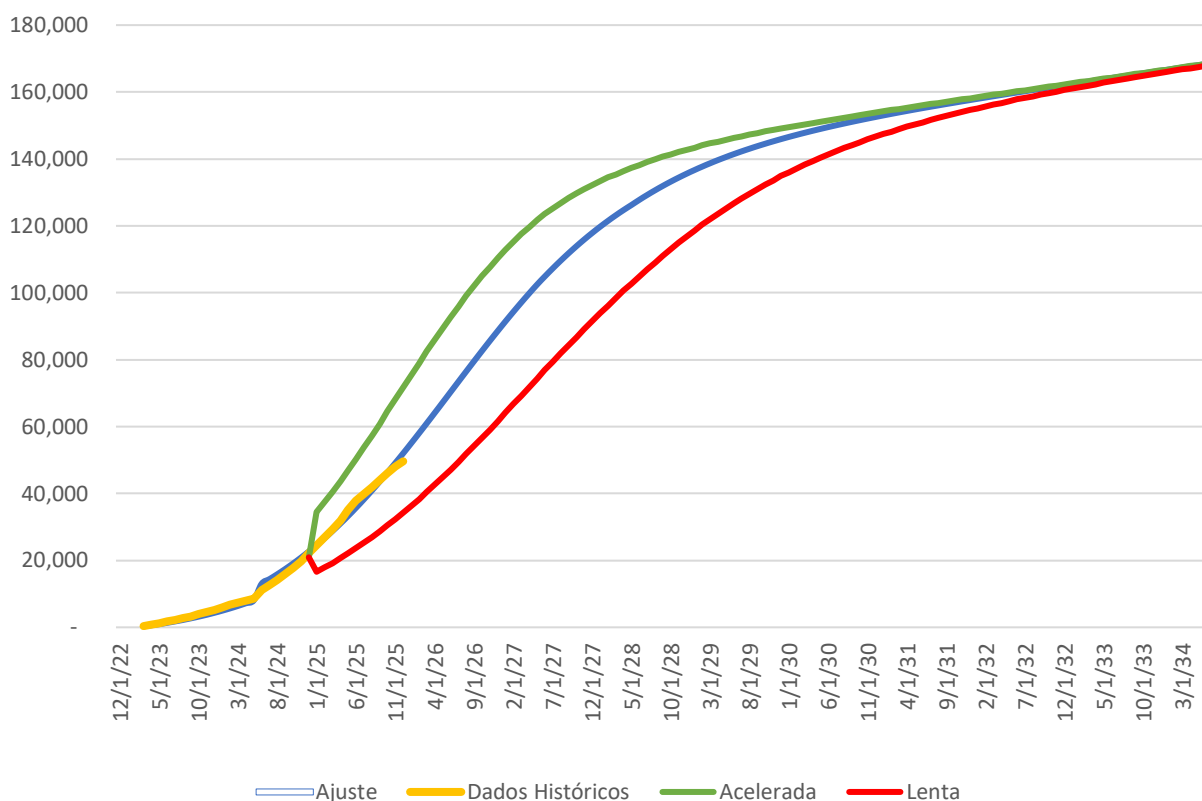


Figura 23 – Adoção Acumulada pelo Modelo de Bass

Os dados históricos se mostram seguindo uma trajetória acima da prevista, mas devido a redução na taxa de adoção desde o início de 2025 a tendência é uma reaproximação com a curva ajustada.

Analisando no quesito de percentual dos que adotaram a inovação segundo o mercado potencial estimado, na data de 01/06/25 estaríamos entorno de 39% do mercado total ter sido atingido. Isso diz, segundo a teoria de Rogers, que o perfil do consumidor já se modificou e está no estágio da maioria inicial, nos trazendo informações importantes sobre as características desse consumidor que se está enfrentando e, assim, gerando *insights* de como abordar estratégias de marketing e vendas para atingi-los, como é exemplificado na tabela 2. A figura 24 mostra as mudanças dos perfis ao longo do tempo.

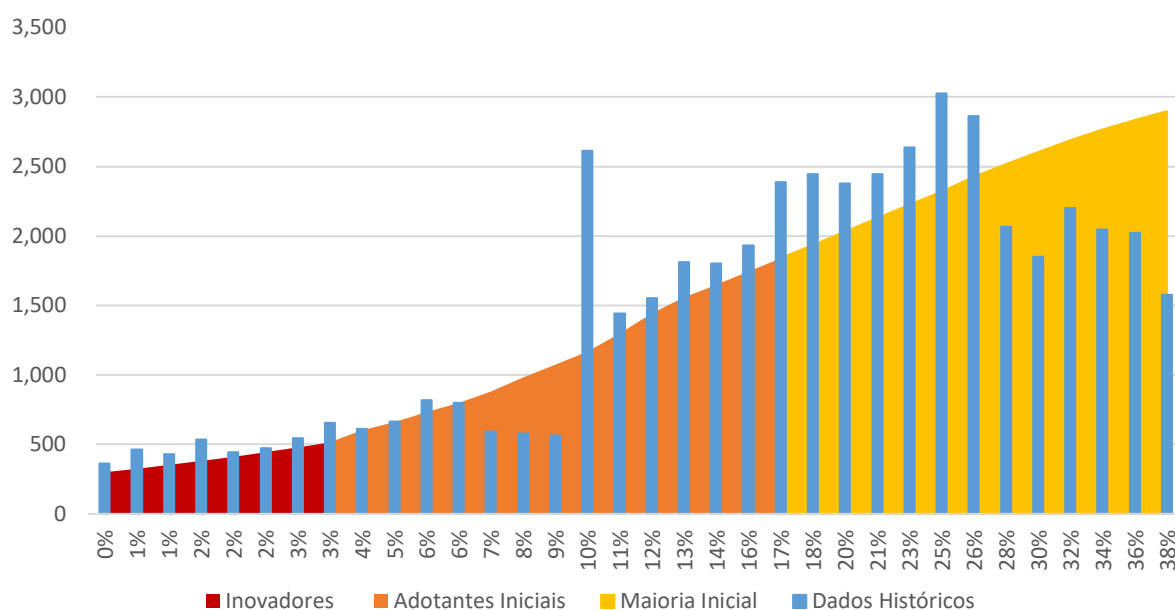


Figura 24 – Variação dos Perfis de Adotantes

Outro ponto importante a se observar é o fato de que a taxa de adoção está apresentando uma forte tendência de queda a partir de 01/01/25, fazendo com que se aproxime rapidamente da curva lenta de adoção. Esse fator pode ser significativo pois é um comportamento conhecido nos estudos de difusão de inovação que apresenta uma curva característica denominada “ciclo de hype”, desenvolvido pela consultoria Gartner em 2001 e representada na figura 25.

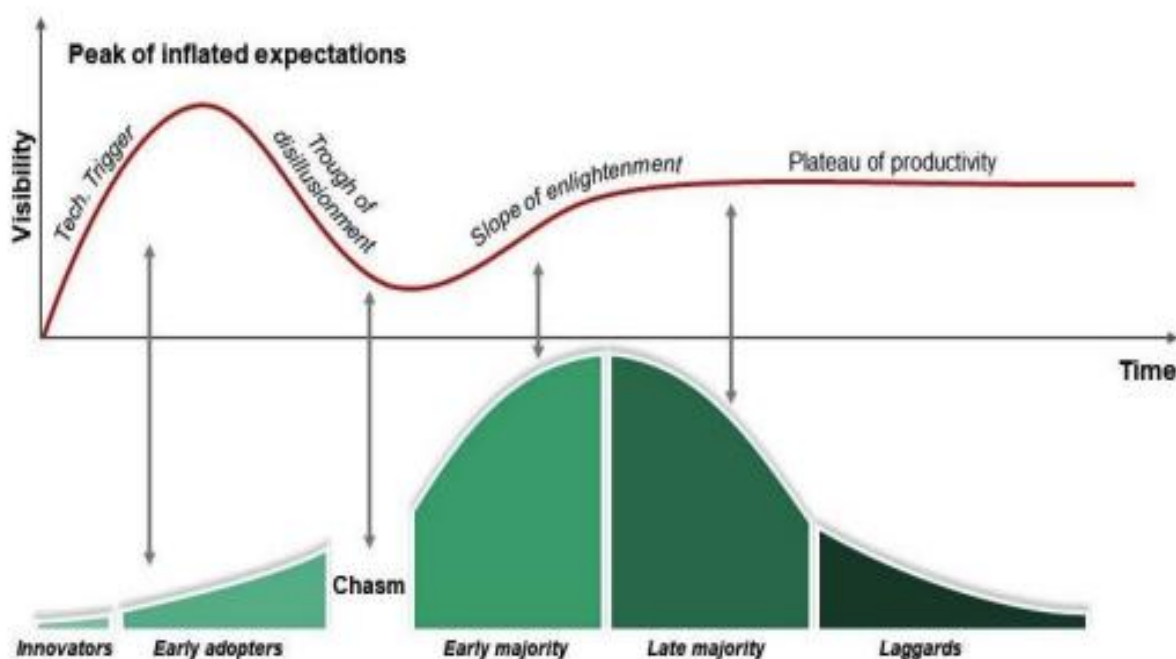


Figura 25 – Curva de Gartne

Fonte: GIZ (2020)

Esse modelo relaciona justamente o comportamento anômalo dessa queda acentuada pelos entornos da fase de transição do consumidor inicial para a maioria inicial, como pode ser observado, e não contradiz o desenvolvido por Rogers. Sua presença indica que a influência dada devido a atenção da mídia é muito relevante e pode sobressair aos efeitos psicológicos. Mais uma vez a robustez que está intrinsecamente embasada pela teoria no modelo de Bass, se mostra sólida.

5. CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido propôs como objetivo o desenvolver uma análise da taxa de adesão das unidades ingressantes no mercado livre de energia. Para atingir isso foi aplicado o modelo de difusão de Bass e, a partir dele, confeccionados diferentes cenários. O modelo fez uso do potencial de adotantes que foi elaborado ao longo do processo e ajustado com os dados reais do até então histórico de migração, com seus parâmetros sendo devidamente analisados e resultando na modelagem da curva de adesão final, atingindo todos os objetivos propostos.

A condução do estudo conseguiu situar o leitor fazendo uma extensa revisão bibliográfica, nivelando o conhecimento sobre o setor e as metodologias necessárias utilizadas na sua confecção. Fazendo isso, o estudo consegue servir de base para um melhor entendimento dos temas abordados, bem como servir de ferramenta para futuros trabalhos.

O histórico de migração foi analisado com uma abordagem por meio de ciclos de mercados definidos por marcos regulatórios fundamentais a partir de sua publicação no mercado em questão, uma abordagem não convencional, mas que mostrou bons resultados e pode ajudar a uma melhor compreensão da adoção no mercado em questão e até mesmo auxiliar no desenvolvimento de trabalhos semelhantes para setores e áreas diversas. O início da aplicação dos modelos de crescimento é sempre um ponto de dificuldade e que tem grande influência nos resultados que serão aferidos, podendo causar muitas divergências.

O mercado potencial trouxe bons resultados que se aproximam de outros estudos realizados, como observado na Projeção de Carga Global de Demanda Máxima Considerando os Efeitos da Portaria normativa N°50/2022, correalizado pela NOS, EPE e CCEE. No caso, foram obtidas 132.538 UCs aptas para a realização do processo de migração para o ACL na data de 01/01/2024 e 87.593 para o ano de 2022.

O modelo de Bass foi aplicado e, adicionalmente, comparado com outros modelos difusivos, o que mostrou sua maior eficácia em se ajustar ao tipo de comportamento, como já vem sendo comumente descrito na literatura. A partir dele foram confeccionados os cenários de migração classificados como Ajuste, Acelerado e Lento, onde se pode ver as possíveis variações nas taxas de adoção e os momentos em que o mercado poderá saturar.

A análise dos resultados prevê que os possíveis tetos de saturação ocorrerão no horizonte entre os anos de 2028 a 2033, a depender da velocidade de adoção e dos efeitos que virão a reger o comportamento da adesão. A partir do desenvolvimento do estudo e análise dos parâmetros finais do modelo pode se observar que fatores cruciais para o entendimento do sistema são principalmente os marcos regulatórios, efeitos tarifários e efeitos de marketing, estes devido a presença de um ciclo de hype.

Contudo, a difusão ainda é um processo de grandes dificuldades para se modelar com precisão, onde processos subjetivos, mudanças sociais ou quaisquer mudanças até então desconhecidas podem acarretar variações significativas na estrutura de quaisquer projeções. Portanto o estudo ainda é limitado as condições específicas do modelo básico utilizado como por exemplo não considerar possíveis variações nos coeficientes “p” e “q” além da inclusão de outros fatores que se mostram

relevantes para a representação do fenômeno em questão como efeitos de campanhas de marketing, sensibilidade ao preço de energia e impactos regulatórios.

Portanto, o estudo se mostra importante pois serve como base para o profissional de engenharia fazer análises estratégicas que permitam ter noções para dimensionamento do equipes, alocação de recursos e projeções financeiras. Além disso, pode auxiliar em programações para o setor público regulatório na geração de políticas que incentivem o desenvolvimento do mercado.

Como sugestão de trabalhos a serem realizados no futuro, com pretensões de criar modelos mais fidedignos e que captem mais variações e oscilações existentes, pode ser apropriado o uso de outros modelos menos abordados na literatura e que não foram abordados no presente trabalho. A literatura para representação de processos de difusão de inovação é muito extensa e pode haver algum modelo que se adeque melhor ao contexto em especial, como uma própria extensão do modelo de Bass que tenta adotar uma sensibilidade a variações de preço e efeitos de marketing, conhecida como Bass Estendido. Uma alternativa a ser explorada é o desenvolvimento de um novo modelo específico para a caracterização deste problema onde a técnica de dinâmica de sistemas é fortemente recomendada.

REFERÊNCIAS

ABRACEEL. **Boletim Abraceel de Energia Livre**. Disponível em: <https://abraceel.com.br/wp-content/uploads/post/2025/01/Boletim-Mensal-Abraceel-Dezembro.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2025

ABRACEEL. **Estudo Abraceel: Expansão da Oferta de Geração para o Mercado Livre**. 2024. Disponível em: <https://abraceel.com.br/wp-content/uploads/2024/11/Expansao-da-Oferta-de-Generacao-para-o-Mercado-Livre.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2025

ABRACEEL. **Mercado livre avança e já responde por 92% da expansão da geração centralizada de energia no Brasil**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/distribuicao/regulacao>. Acesso em 20 mar. 2025.

ANEEL. **Base de Dados Geográfica da Distribuidor – BDGD**. 2024. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/base-de-dados-geografica-da-distribuidora-bdgd>. Acesso em: 3 jun. 2025

BASS, F.M. A new product growth model for consumer durables. **Management Science**, v. 15, n. 5, p. 215–227, 1969.

BASTOS, Sérgio. Proposta de um arcabouço analítico na perspectiva relacional para auxílio à gestão de estratégias políticas empresariais: foco no setor elétrico brasileiro. Dissertação PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2012.

BRASIL. **Matriz elétrica Brasileira registra maior expansão da história em 2024**. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2025/janeiro/matriz-eletrica-brasileira-registra-maior-expansao-da-historia-em-2024>. Acesso em: 20 mar. 2025.

BRASIL. **Plano operacional prevê incremento de R\$ 7,6 bilhões nos próximos 5 anos para o setor elétrico brasileiro**. 2025. Disponível em: [https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/plano-operacional-preve-incremento-de-r-7-6-bilhoes-nos-proximos-5-anos-para-o-setor-eletrico-brasileiro#:~:text=O%20setor%20de%20energia%20elétrica,ONS\)%20em%20dezembro%20de%202024](https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/plano-operacional-preve-incremento-de-r-7-6-bilhoes-nos-proximos-5-anos-para-o-setor-eletrico-brasileiro#:~:text=O%20setor%20de%20energia%20elétrica,ONS)%20em%20dezembro%20de%202024). Acesso em: 13 fev. 2025.

BRASIL. **Regulação – Saiba mais sobre regulação técnica e econômica do segmento de distribuição de energia elétrica**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/distribuicao/regulacao>. Acesso em: 25 mar. 2025.

CCEE. **Estrutura do Setor Elétrico Brasileiro**. 2025. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/governanca>. Acesso em: 20 mar. 2025.

CCEE. Nossos associados. 2025. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/nossos-associados>. Acesso em: 6 mai. 2025

CCEE. **Visão Geral da CCEE: o que faz a Câmara de Comercialização?**. 2021. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/-/visao-geral-da-ccee-o-que-faz-a-camara-de-comercializacao->. Acesso em: 20 mar. 2025.

ENERGÊS. **O que é o SIN**. 2020. Disponível em: <https://energes.com.br/o-que-e-o-sin/>. Acesso em: 13 mar. 2025.

ENGIE. **O que muda no Mercado Livre de energia a partir de 2024**. 2023. Disponível em: [https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/plano-operacional-preve-incremento-de-r-7-6-bilhoes-nos-proximos-5-anos-para-o-setor-eletrico-brasileiro#:~:text=O%20setor%20de%20energia%20elétrica,\(ONS\)%20em%20dezembro%20de%202024](https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/plano-operacional-preve-incremento-de-r-7-6-bilhoes-nos-proximos-5-anos-para-o-setor-eletrico-brasileiro#:~:text=O%20setor%20de%20energia%20elétrica,(ONS)%20em%20dezembro%20de%202024). Acesso em 13 fev. 2025

ENGIE. **ODS 7 da ONU defende importância da energia limpa acessível**. 2021. Disponível em: https://www.alemdaenergia.engie.com.br/ods-7-da-onu-defende-importancia-da-energia-limpa-acessivel/?gad_source=1&qbraid=0AAAAoJ_Evk6OWqRIfvH1lvPpFhOt4cLu&gclid=CjwKC_AiA5eC9BhAuEiwA3CKwQnrOW3rrHpWWfQkaRRIdodJxiAGx5Rtz_8zruncJLyLsWvhD4EkdtxoCqHsQAVD_BwE. Acesso em: 21 fev. 2025

EOLAS. 25 years of eletricity market liberation. 2025. Disponível em: https://www.eolasmagazine.ie/25-years-of-electricity-market-liberalisation/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 3 jun. 2025.

EPE; ONS; CCEE. **Projeção de carga global de demanda máxima considerando os efeitos da portaria normativa nº 50/2022**. 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-305/topico-690/NT-%20Portaria%2050_versão_publicaçãoFINAL3%201.pdf.

EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2025**. 2025. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em: 13 mar. 2025

EPE. **Modelo de Mercado da Micro e Minigeração Distribuída (4MD): Metodologia – Versão PDE 2031**. 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-607/topico-593/NT_Metodologia_4MD_PDE_2031.pdf.

EXAME. **Varejo: quais as vantagens de aderir ao mercado livre de energia?** Disponível em: <https://exame.com/bussola/varejo-quais-as-vantagens-de-aderir-ao-mercado-livre-de-energia/>. Acesso em: 21 fev. 2025

FALCÃO, Djalma; PSR. SIGLASUL. **Sistemas Energéticos do Futuro III - Revisão Bibliográfica Sobre Metodologias para Projeção de Difusão dos Recursos Energéticos**

Distribuídos. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/areas-de-atuacao/cooperacao-internacional/ArquivosCooperacaoInternacional/PSR_GIZ_RED_Produto_2_1_Final.pdf.

FERNANDES, Gustavo dos Santos. **Modelo de dinâmica de sistemas para avaliar a capacidade instalada de energia eólica no Brasil**. 2019. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

GEELS, Frank W. Low-carbon transition via system reconfiguration? A socio-technical whole system analysis of passenger mobility in Great Britain (1990–2016). **Energy Research & Social Science**, Elsevier BV, v. 46, p. 86–102, 2018. DOI: 10.1016/j.erss.2018.07.008.

IDEC. **Como funciona o setor de energia elétrica no Brasil**. 2020. Disponível em: <https://idec.org.br/edasuaconta/o-setor>. Acesso em: 20 ago. 2025.

INFOMONEY. **Mercado livre puxa expansão da geração de energia e muda perfil de leilões**. 2024. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/business/mercado-livre-puxa-expansao-da-geracao-de-energia-e-muda-perfil-de-leiloes/>. Acesso em: 21 fev. 2025

KONZEN, Gabriel. Difusão de sistemas fotovoltaicos residenciais conectados à rede no Brasil: uma simulação via modelo de Bass. 2014. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

LORENZO, Helena. O Setor Elétrico Brasileiro: Passado e Futuro. **PERSPECTIVAS, Revista de Ciências Sociais, Universidade Estadual Paulista**, p. 147 – 170. Disponível em: <https://periodicos.fclar.unesp.br/perspectivas/article/view/406/291>.

LUNA, Tiago Luna. A influência dos sistemas de compartilhamento na transição para carros. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

MACHADO, Solange. Análise do mercado de energia elétrica brasileiro para aplicação da arquitetura *blockchain*: um estudo para fomentar a digitalização, a descentralização e a descarbonização do setor elétrico. **Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade, Araranguá, 2021**. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/226833>.

MAHAJAN, Vijay; MULLER, Eitan; BASS, Frank M. New Product Diffusion Models in Marketing: A Review and Directions for Research. **Journal of Marketing**, SAGE Publications, v. 54, n. 1, p. 1, 1990. DOI: 10.2307/1252170.

MASSIANI, Jérôme; GOHS, Andreas. The choice of Bass model coefficients to forecast diffusion for innovative products: An empirical investigation for new automotive technologies. **Research in Transportation Economics**, v. 50, p. 17–28, 2015.

MEADOWS, Donella H. et al. **The Limits to Growth**. [S.l.]: New York: Universe Books, 1972.

MEADOWS, Donella. Thinking in Systems: a primer. [S.l.]: Vermont: Chelsea Green Publishing, 2008.

MOTA, Débora Nunes. **O Ambiente de Contratação Livre e a Expansão da Oferta de Energia Elétrica: uma proposta conceitual para a financiabilidade, sob a ótica do financiador**. 2015. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração de Empresas,

Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

ONS. **O que é o SIN**. 2025. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>. Acesso em: 13 mar. 2025.

ONS. **O Sistema em Números**. 2025. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>. Acesso em: 21 ago. 2025.

PASSADORE, Juliana de Almeida. Aprimoramento do marco regulatório do setor elétrico brasileiro frente à abertura do mercado livre para todos os consumidores: uma proposta de transição para o futuro. 2023. Tese (Doutorado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023. doi:10.11606/T.3.2023.tde-29112023-144304. Acesso em: 2025-08-21.

Pires, José. O Processo de Reformas do Setor Elétrico Brasileiro. **REVISTA DO BNDES, RIO DE JANEIRO**, V. 6, N. 12, P. 137-168, DEZ. 1999. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/11556/1/RB%2012%20O%20Processo%20de%20Reformas%20do%20Setor%20Elétrico%20Brasileiro_P_BD.pdf.

RIBEIRO, Luisa Helena Machado. **Risco de mercado na comercialização de energia elétrica: uma análise estruturada com foco no ambiente de contratação livre - ACL**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-14072016-111314/>. Acesso em: 21 ago. 2025.

RICHES, Raimar. O mercado como catalisador do desenvolvimento. **Revista de Administração Empresarial, FGV, São Paulo**. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-75901986000300008>.

STERMAN, John D. **Business dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World**. Boston. McGraw-Hill Higher Education, 2000.

STRAUSS, Luisa Mariele. Um modelo em dinâmica de sistemas para o ensino superior. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

WITZLER. **Mercado livre de energia: A importância dos submercados no comércio**. 2021. Disponível em: <https://www.witzler.com.br/mercado-livre-de-energia-submercados-entenda/>. Acesso em: 3 abr. 2025.