

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ARIEL SVIRSKI WALDEMAR

**MIGRAÇÃO DE CONSUMIDORES RESIDENCIAIS PARA O AMBIENTE DE  
CONTRATAÇÃO LIVRE DE ENERGIA COM USO DE DINÂMICA DE SISTEMAS**

Porto Alegre

2023

ARIEL SVIRSKI WALDEMAR

**MIGRAÇÃO DE CONSUMIDORES RESIDENCIAIS PARA O AMBIENTE DE  
CONTRATAÇÃO LIVRE DE ENERGIA COM USO DE DINÂMICA DE SISTEMAS**

Projeto de Diplomação como requisito à  
obtenção do título de Engenheiro  
Eletricista pela Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Gladis Bordin

Porto Alegre

2023

ARIEL SVIRSKI WALDEMAR

**MIGRAÇÃO DE CONSUMIDORES RESIDENCIAIS PARA O AMBIENTE DE  
CONTRATAÇÃO LIVRE DE ENERGIA COM USO DE DINÂMICA DE SISTEMAS**

Este Projeto de Diplomação foi analisado, julgado adequado e aprovado em sua forma final pela Orientadora e pela Banca Examinadora.

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gladis Bordin  
Orientadora

Aprovado em: 29/8/2023

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gladis Bordin  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Igor Pasa Wiltuschnig  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Roberto Petry Homrich  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre  
2023

## **AGRADECIMENTOS**

Expresso minha profunda gratidão a todas as pessoas que contribuíram para a conclusão deste trabalho de diplomação do curso em Engenharia Elétrica da UFRGS. Sem o apoio, incentivo e colaboração de cada um de vocês, este trabalho não seria possível.

Agradeço em especial à minha orientadora Gladis Bordin, cuja orientação e expertise foram fundamentais para a condução deste estudo. Sua dedicação, paciência e valiosos conselhos durante nossas longas reuniões foram essenciais para o sucesso deste trabalho.

Aos professores do curso de Engenharia Elétrica da UFRGS, meu agradecimento pela transmissão do conhecimento e pela qualidade do ensino durante toda a graduação, que contribuiu para a minha formação como engenheiro eletricista.

Agradeço aos meus amigos do Colégio Santa Inês que até hoje permanecem fiéis e sempre me proporcionam bons momentos de descontração.

Agradeço também aos colegas e amigos de curso que me acompanharam nesta jornada acadêmica. As discussões, troca de ideias e ajuda mútua foram inestimáveis para o desenvolvimento deste trabalho e para o enriquecimento de minha experiência universitária.

À minha família, que sempre ofereceu suporte e incentivo durante toda a trajetória acadêmica, meu agradecimento.

## RESUMO

O mercado livre de energia, onde os consumidores podem escolher seu fornecedor de energia, está aberto para consumidores de grande porte (grupo A), porém as tendências mundiais e da regulamentação brasileira é de abertura do mercado para os consumidores de pequeno porte (grupo B), como os residenciais. A regulamentação prevê a obrigatoriedade da contratação de comercializadores varejistas para os consumidores do grupo A com demanda inferior a 500 kW, o que mostra a tendência desta obrigatoriedade para os consumidores de menor porte (grupo B). O trabalho apresenta a modelagem, com o uso da técnica de Dinâmica de Sistemas, da migração de consumidores residenciais para o ambiente de contratação livre (ACL) considerando o papel do comercializador varejista neste contexto. Com o modelo implementado no *software* Powersim Studio versão 10, identifica-se políticas relevantes na migração dos consumidores residenciais para o ACL. Os resultados do modelo, através da elaboração de sete cenários, revelam a importância do *marketing* e da publicidade na conscientização dos consumidores a respeito do ACL, assim como a importância da precificação dos encargos de migração cobrados pelo governo e do custo de contratação cobrado pelo comercializador varejista para não afastar os consumidores com um alto custo inicial de migração.

**Palavras-chave:** comercializador varejista, consumidor residencial, dinâmica de sistemas, mercado livre de energia, migração.

## ABSTRACT

The free energy market, where consumers can choose their energy supplier, is open to large consumers (group A), but global trends and Brazilian regulation are opening the market to small consumers (group B), such as residential. The regulation provides for the obligation to hire retailers for group A consumers with a demand of less than 500 kW, which shows the tendency of this obligation for smaller consumers (group B). The work presents the modeling, using the System Dynamics technique, of the migration of residential consumers to the free contracting environment (ACL), considering the role of the retailer in this context. With the model implemented in Powersim Studio version 10 software, relevant policies are identified in the migration of residential consumers to the ACL. The model's results, through the elaboration of seven scenarios, reveal the importance of marketing and advertising in raising consumer awareness about the ACL, as well as the importance of pricing the migration charges charged by the government and the contracting cost charged by the retailer so as not to alienate consumers with a high initial migration cost.

**Keywords:** retailers, residential consumer, systems dynamics, free energy market, migration.

## LISTA DE FIGURAS

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Figura 1  | – Histórico da habilitação de CVs no Brasil.....                              | 20 |
| Figura 2  | – Exemplo de Corrente Causal.....   | 30 |
| Figura 3  | – Exemplo de Diagrama de Estoque e Fluxo.....                                 | 32 |
| Figura 4  | – Modo de Referência.....   | 37 |
| Figura 5  | – Diagrama de Laço Causal.....  | 38 |
| Figura 6  | – Laços de Realimentação do “Fator Econômico”.....                            | 39 |
| Figura 7  | – Laço de Realimentação da “Comodidade”.....                                  | 40 |
| Figura 8  | – Laço de Realimentação do “Boca a Boca”.....                                 | 41 |
| Figura 9  | – Corrente Causal da “Cultura”.....   | 42 |
| Figura 10 | – Diagrama de Estoque e Fluxo do modelo completo.....                         | 43 |
| Figura 11 | – DEF da Comodidade.....  | 44 |
| Figura 12 | – DEF do “Boca a Boca”.....   | 46 |
| Figura 13 | – DEF da Cultura.....   | 48 |
| Figura 14 | – DEF do Custo Inicial de Migração e da Fatura no ACL.....                    | 49 |
| Figura 15 | – DEF dos Fatores Econômicos.....   | 54 |
| Figura 16 | – DEF da Decisão do Consumidor Residencial pelo ACL.....                      | 57 |
| Figura 17 | – DEF dos Domicílios Residenciais no ACL e no ACR.....                        | 60 |
| Figura 18 | – Resultado do teste de política do “Marketing”.....                          | 69 |
| Figura 19 | – Resultado do teste de política de “Encargos de Migração”.....               | 71 |
| Figura 20 | – Resultado do teste de política do “Custo de contratação do CV inicial”..... | 72 |
| Figura 21 | – Comparação entre os Cenários e o Modo de Referência.....                    | 74 |

## LISTA DE QUADROS

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Quadro 1  | – Histórico da redução da carga mínima exigida para migração ao mercado livre.....             | 17 |
| Quadro 2  | – Relação para nomenclatura das variáveis no modelo e no equacionamento.....                   | 53 |
| Quadro 3  | – Estimativa para os Domicílios Residenciais por Classe de Renda.....                          | 63 |
| Quadro 4  | – Estimativa para o Consumo médio mensal de kWh por Classe de Renda.....                       | 64 |
| Quadro 5  | – Estimativa das variáveis de ponderação da preferência temporal.....                          | 64 |
| Quadro 6  | – Valores dos parâmetros de cenário no cenário Base.....                                       | 66 |
| Quadro 7  | – Análise de sensibilidade do sistema.....   | 67 |
| Quadro 8  | – Valores dos Parâmetros de Cenário para o Teste do “Marketing” .....                          | 69 |
| Quadro 9  | – Valores dos Parâmetros de Cenário para o Teste de “Encargos de Migração” .....               | 70 |
| Quadro 10 | – Valores dos Parâmetros de Cenário para o Teste do “Custo de contratação do CV inicial” ..... | 72 |
| Quadro 11 | – Síntese dos Cenários.....  | 75 |
| Quadro 12 | – Resultados Complementares.....   | 84 |

## LISTA DE SIGLAS

|          |  |
|----------|--|
| ABRACEEL | Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia       |
| ABRADEE  | Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica  |
| ACL      | Ambiente de Contratação Livre                                |
| ACR      | Ambiente de Contratação Regulado                             |
| ANEEL    | Agência Nacional de Energia Elétrica                         |
| ASIC     | <i>Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales</i> |
| BT       | Baixa Tensão   |
| CAISO    | <i>California Independent System Operator</i>                |
| CCA      | <i>Community Choice Agregation</i>                           |
| CCEE     | Câmara de Comercialização de Energia Elétrica                |
| CE       | Comunidade Europeia  |
| CND      | <i>Centro Nacional de Despacho</i>                           |
| COFINS   | Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social       |
| CREG     | <i>Comisión de Regulación de Energía y Gas</i>               |
| CUR      | Comercializadores de Último Recurso                          |
| CV       | Comercializador Varejista                                    |
| DEF      | Diagrama de Estoque e Fluxo                                  |
| DLC      | Diagrama de Laço Causal                                      |
| DS       | Dinâmica de Sistemas   |
| EDP      | Energias de Portugal   |
| EPE      | Empresa de Pesquisa Energética                               |
| GM       | Gabinete do Ministro   |
| IBGE     | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística              |
| ICMS     | Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços           |
| MME      | Ministério de Minas e Energia                                |
| NYISO    | <i>New York Independent System Operator</i>                  |
| OFGEM    | <i>Office of Gas and Electricity Markets</i>                 |
| ONS      | Operador Nacional do Sistema                                 |
| PASEP    | Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público       |
| PIS      | Programa de Integração Social                                |
| PSC      | <i>Public Service Commission</i>                             |

|       |   |
|-------|---|
| RN    | Resolução Normativa   |
| SIGET | <i>Superintendencia Geral de Eletricidad y Telecomunicaciones</i> |
| TE    | Tarifa de Energia   |
| TT    | Tarifa de Transporte  |
| TUSD  | Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição                          |
| TUST  | Tarifa de Uso de Sistema de Transmissão                           |
| UT    | <i>Unidad de Transacciones</i>                                    |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                     | <b>12</b> |
| 1.1 MOTIVAÇÃO .....                           | 12        |
| 1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA .....          | 13        |
| 1.3 OBJETIVO .....                            | 13        |
| 1.4 TRABALHOS CONSULTADOS .....               | 13        |
| 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....                | 14        |
| <b>2 AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO LIVRE .....</b>  | <b>16</b> |
| 2.1 MERCADO LIVRE NO BRASIL .....             | 16        |
| 2.2 TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....       | 17        |
| 2.2.1 Consumidores .....                      | 18        |
| 2.3 COMERCIALIZADOR VAREJISTA NO BRASIL.....  | 19        |
| 2.4 COMERCIALIZADOR EM OUTROS PAÍSES .....    | 21        |
| 2.4.1 Inglaterra .....                        | 22        |
| 2.4.2 Portugal.....                           | 22        |
| 2.4.3 Colômbia .....                          | 23        |
| 2.4.4 El Salvador.....                        | 24        |
| 2.4.5 Estados Unidos .....                    | 25        |
| <b>3 DINÂMICA DE SISTEMAS .....</b>           | <b>26</b> |
| 3.1 O PENSAMENTO SISTÊMICO .....              | 26        |
| 3.2 DINÂMICA DE SISTEMAS .....                | 26        |
| 3.2.1 Compreensão do Sistema .....            | 27        |
| 3.2.2 Modo de Referência .....                | 28        |
| 3.2.3 Diagrama de Laço Causal.....            | 28        |
| 3.2.4 Diagrama de Estoque e Fluxo.....        | 31        |
| 3.2.5 Estimação de valores de Parâmetros..... | 33        |
| 3.2.6 Simulação do Modelo.....                | 33        |
| 3.2.7 Análise de Sensibilidade .....          | 34        |
| 3.2.8 Teste de Políticas.....                 | 34        |
| <b>4 METODOLOGIA PROPOSTA .....</b>           | <b>35</b> |
| 4.1 CONHECIMENTO DO SISTEMA .....             | 35        |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.2 MODO DE REFERÊNCIA .....   | 36        |
| 4.3 DIAGRAMA DE LAÇO CAUSAL .....  | 38        |
| 4.3.1 Laços de Realimentação do “Fator Econômico” .....                                      | 39        |
| 4.3.2 Laço de Realimentação da “Comodidade” .....  | 40        |
| 4.3.3 Laço de Realimentação do “Boca a Boca” .....   | 41        |
| 4.3.4 Corrente Causal da “Cultura” .....   | 42        |
| 4.4 DIAGRAMA DE ESTOQUE E FLUXO .....  | 42        |
| 4.4.1 Comodidade e Publicidade .....   | 44        |
| 4.4.2 Boca a Boca.....   | 46        |
| 4.4.3 Cultura e Escolaridade.....  | 48        |
| 4.4.4 Custo Inicial de Migração e da Fatura de Energia Elétrica no ACL.....                  | 49        |
| 4.4.5 Fatores Econômicos.....  | 53        |
| 4.4.6 Decisão do Consumidor Residencial pelo ACL.....  | 57        |
| 4.4.7 Domicílios Residenciais no ACL e no ACR.....   | 59        |
| 4.5 ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS.....   | 61        |
| <b>5 RESULTADOS.....</b>   | <b>66</b> |
| 5.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE .....   | 66        |
| 5.2 TESTE DE POLÍTICAS.....  | 68        |
| 5.2.1 Políticas de Publicidade .....   | 68        |
| 5.2.2 Políticas de Precificação dos Encargos de Migração.....                                | 70        |
| 5.2.3 Políticas de Precificação da Contratação do CV.....                                    | 71        |
| 5.3 VALIDAÇÃO DO MODELO.....   | 73        |
| 5.4 ANÁLISE DE RESULTADOS .....  | 74        |
| <b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>  | <b>77</b> |
| 6.1 CONCLUSÃO .....  | 77        |
| 6.2 TRABALHOS FUTUROS .....  | 78        |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>79</b> |
| <b>APÊNDICE A – RESULTADOS COMPLEMENTARES.....</b>   | <b>84</b> |
| <b>APÊNDICE B – VALOR DA TARIFA CONSIDERANDO OS IMPOSTOS DE PIS,<br/>COFINS E ICMS .....</b> | <b>86</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 MOTIVAÇÃO

O Ministério de Minas e Energia (MME) estabeleceu através de normativa a abertura do mercado livre de energia para todos os consumidores do Grupo A (atendidos em alta tensão) a partir de 1º de janeiro de 2024, independente da demanda (BRASIL, 2022a). A normativa também estabelece que consumidores com carga individual inferior a 500 kW serão representados por agente varejista perante a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). A normativa reforça as tendências do mercado de energia no Brasil de uma maior liberalização, de forma que cada vez mais consumidores poderão aderir ao mercado livre, onde terão a oportunidade de escolher de qual fornecedor querem comprar sua energia elétrica. A experiência de países que abriram seu mercado de energia elétrica para todos os consumidores revela a diminuição do custo de energia elétrica para aqueles que decidem aderir ao mercado livre, mostrando-se vantajosa a migração.

Os consumidores residenciais, da Subclasse B1, ainda não estão permitidos a migrar para o mercado livre. Todavia, a tendência converge para a chegada desta liberalização em 2028, e se mostra necessário compreender a tomada de decisão destes consumidores para avaliar o futuro do mercado de energia brasileiro e a expansão do mercado livre com os consumidores residenciais. Estes consumidores poderão escolher entre permanecer no mercado regulado ou migrar ao mercado livre contratando um comercializador varejista de energia, que, a troca de uma gratificação monetária, fará a migração do consumidor ao mercado livre com os devidos trâmites legais e realizará a compra de energia em seu nome. Há a tendência de que a contratação do comercializador varejista seja compulsória por normativa ou lei aos consumidores residenciais que desejarem migrar ao mercado livre, como já está estabelecido em normativa para os consumidores do Grupo A com carga inferior a 500 kW (BRASIL, 2022a).

Este trabalho é motivado pela busca dos principais fatores e políticas que levam o consumidor residencial a aderir ao mercado livre e por avaliar o papel e influência do comercializador varejista de energia no cenário de abertura do mercado para consumidores residenciais.

## 1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Este trabalho pressupõe que o comercializador varejista desempenhará um papel fundamental na migração dos consumidores residenciais para o mercado livre brasileiro quando o mercado de energia for aberto, mesmo que sua contratação eventualmente não seja compulsória, uma vez que a maior parte da população não possui conhecimento dos processos de compra e venda de energia elétrica nem dos trâmites necessários para realizar a migração. Desta forma, é fundamental avaliar os efeitos do comercializador varejista no processo de migração e na manutenção do consumidor no mercado livre.

## 1.3 OBJETIVO

Desenvolver um modelo com uso da técnica de Dinâmica de Sistemas, que permita avaliar o comportamento dinâmico da migração dos consumidores residenciais para o mercado livre de energia no Brasil, considerando o papel do comercializador varejista.

## 1.4 TRABALHOS CONSULTADOS

Para situar o presente trabalho, é realizada uma revisão bibliográfica, citando trabalhos que utilizam a técnica de Dinâmica de Sistemas para modelagem de problemas relacionados ao setor elétrico brasileiro, como segue.

Bordin desenvolveu um modelo para projeção e planejamento de demanda de distribuidoras de energia elétrica em presença de competição, contemplando os fatores estratégicos e comportamentais dos agentes de mercado e considerando simultaneamente o comportamento dos consumidores e das empresas (BORDIN, 2000).

Silva desenvolveu um modelo para projeção e planejamento de demanda complementando com as novas regras de comercialização que surgiram desde Bordin (SILVA, 2007).

Souza modelou o problema da comercialização de energia elétrica na visão do consumidor potencialmente livre. O modelo desenvolvido quantifica o risco econômico da migração entre os ambientes do mercado (SOUZA, 2012).

Baumgarten apresentou um modelo para a análise do comportamento dinâmico da inserção da microgeração e minigeração solar fotovoltaica em redes de distribuição de energia elétrica. A partir do modelo desenvolvido, testou políticas que incentivam a adoção destas fontes e impactam sobre a tomada de decisão do consumidor, assim como avaliou o impacto da adoção das fontes no faturamento das distribuidoras (BAUMGARTEN, 2016).

Schultz utilizou da técnica de Dinâmica de Sistemas e da Teoria dos Jogos para desenvolver um modelo que projeta a demanda de empresas comercializadoras e gestoras em ambiente competitivo considerando a movimentação estratégica tanto dos agentes quanto dos consumidores (SCHULTZ, 2016).

Alles desenvolveu um modelo para a migração dos consumidores residenciais para o ACL visando identificar os fatores e políticas mais influentes na tomada de decisão dos consumidores residenciais quanto a migração em um cenário que ele possa se tornar livre (ALLES, 2018). O presente trabalho possui objetivos similares ao trabalho de Alles (2018), no entanto considera a regulamentação atualizada, principalmente no que diz a respeito ao papel central do comercializador varejista na migração dos consumidores residenciais.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para atingir os objetivos propostos, o trabalho é estruturado em seis capítulos, incluindo este primeiro capítulo introdutório.

O Capítulo 2 traz informações a respeito do mercado livre brasileiro, dos consumidores, da tarifação de consumidores cativos e dos comercializadores varejistas. Ainda apresenta casos de mercados livres de energia de países em que o mercado já se encontra aberto para os consumidores residenciais.

O Capítulo 3 descreve o conceito de pensamento sistêmico, a técnica de Dinâmica de Sistemas (DS) e os passos para implementação do modelo computacional.

O Capítulo 4 mostra o desenvolvimento do modelo proposto seguindo os passos da DS. São apresentadas as variáveis relevantes do problema, o Modo de Referência, o Diagrama de Laço Causal (DLC) do problema, o Diagrama de Estoque e Fluxo (DEF) com a formulação matemática e a estimação dos parâmetros.

O Capítulo 5 apresenta os resultados com uso do modelo aqui proposto, a análise de sensibilidade e o teste de políticas. Essas últimas que promovem a migração.

O Capítulo 6 descreve as considerações finais e conclusões do trabalho, indicando melhoramentos futuros.

## 2 AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO LIVRE

Este capítulo descreve resumidamente o Ambiente de Contratação Livre (ACL) e o comercializador varejista (CV). Ainda são mostrados casos de mercados de energia elétrica de países em que o consumidor residencial pode ser livre.

### 2.1 MERCADO LIVRE NO BRASIL

No mercado livre, o consumidor pode escolher livremente de quem obterá seu fornecimento de energia. A disponibilização de energia aos consumidores do mercado livre pode ocorrer por parte de agentes comercializadores, importadores, autoprodutores (autorizados a vender excedente de energia), geradores ou ainda outros consumidores do mercado livre, desde que cadastrados como agentes da CCEE.

A criação do mercado livre de energia objetivou a motivação da livre concorrência e criação de maior competitividade entre as empresas brasileiras, causando a diminuição dos custos com energia elétrica. O início da abertura do mercado de energia no Brasil ocorreu em 8 de julho de 1995, com a sanção da Lei 9.074 de 1995, que permitiu que consumidores existentes com carga igual ou superior a 10 MW, atendidos em tensão elétrica igual ou superior a 69 kV, comprem energia de produtores independentes. A Lei também definiu que novos consumidores com carga mínima de 3 MW podem contratar energia de qualquer fornecedor (BRASIL, 1995).

A criação do ambiente de comercialização livre ocorreu com a Resolução 265 da ANEEL, em 13 de agosto de 1998, em que foram estabelecidas as condições para o exercício da atividade de comercialização de energia elétrica (ANEEL, 1998). Desde então, o patamar mínimo de carga exigida para os consumidores se tornarem potencialmente livres vem reduzindo. O Quadro 1 relaciona as Portarias Normativas com a nova carga mínima para migração ao mercado livre de energia e sua data de vigência.

O consumidor especial é uma categoria de consumidor estabelecido pela Lei 9.427, de 26 de dezembro de 1996, caracterizado por atendimento com carga igual ou superior a 500 kW em qualquer tensão acima de 2,3 kV. Ele é caracterizado por

poder comprar energia somente de fontes incentivadas, como solar, eólica e biomassa (BRASIL, 1996).

Quadro 1 – Histórico da redução da carga mínima exigida para migração ao mercado livre

| <b>Portaria Normativa</b>                               | <b>Carga mínima exigida (kW)</b>                               | <b>Data da Vigência</b> |
|---|--|-------------------------|
| <b>Portaria nº 514, de 27 de Dezembro de 2018</b>       | 2500   | 1º de julho de 2019     |
|   | 2000   | 1º de janeiro de 2020   |
| <b>Portaria nº 465, de 12 de Dezembro de 2019</b>       | 1500   | 1º de janeiro de 2021   |
|   | 1000   | 1º de janeiro de 2022   |
|   | 500  | 1º de janeiro de 2023   |
| <b>Portaria nº 50/GM/MME, de 27 de Setembro de 2022</b> | Qualquer demanda para consumidores do Grupo A ( $\geq 2,3$ kV) | 1º de janeiro de 2024   |

Fonte: o autor.

Em 29 de setembro de 2022, a Portaria nº 690/GM/MME foi publicada, abrindo consulta pública para discussão com a sociedade sobre minuta da portaria prevendo redução de limites de carga para a contratação de energia elétrica no mercado livre por parte dos consumidores conectados na baixa tensão. A minuta, contida na Portaria nº 690, prevê a abertura do mercado para 1º de janeiro de 2026 para consumidores atendidos por BT, a exceção dos integrantes das classes residencial e rural, e para 1º de janeiro de 2028 para os integrantes das classes residencial e rural. A minuta prevê também que os consumidores atendidos por BT deverão ser representados por agente varejista perante a CCEE (BRASIL, 2022b).

## 2.2 TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A tarifa de energia elétrica para os consumidores cativos é composta por: custos com aquisição de energia elétrica, custos relativos ao uso do sistema de distribuição, custos relativos ao uso do sistema de transmissão, perdas técnicas e não técnicas, encargos diversos, impostos e acréscimo por bandeira tarifária. Os custos

com a aquisição de energia são repassados integralmente ao consumidor pela Tarifa de Energia (TE) e é constituído pelo custo da contratação da energia pela distribuidora para atender todo o consumo do mercado cativo. Esta aquisição de energia é realizada através de leilões regulados realizados através da CCEE.

Os custos relativos ao uso dos sistemas de distribuição e de transmissão são repassados ao consumidor pela Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e Tarifa de Uso de Sistema de Transmissão (TUST), respectivamente. Para os consumidores cativos, a TUST está incluída na TUSD, ou seja, a tarifa final da TUSD é composta pelos custos do uso dos sistemas de distribuição e transmissão.

O custo das perdas técnicas é composto pelo custo da energia elétrica perdida nos condutores pela conversão para calor principalmente. O custo das perdas não técnicas é devido aos furtos de energia e a problemas de medição. Os encargos setoriais são contribuições instituídas por lei que visam obter recursos e financiamentos de necessidades do setor elétrico. Os impostos cobrados na tarifa são o PIS/PASEP, COFINS e o ICMS, sendo que o último pode corresponder a mais de 30% da tarifa total (Apêndice B). O acréscimo da tarifa pelas bandeiras tarifárias ocorre quando a bandeira vigente é amarela, vermelha patamar 1, vermelha patamar 2 ou bandeira de escassez hídrica (ABRADEE-adaptado, 2017).

Os consumidores de baixa tensão podem optar entre as tarifas convencional monômnia e horária branca, sendo a última não disponível para classe residencial de baixa renda e para iluminação pública. A tarifa convencional monômnia apresenta um valor único independente da hora do dia, enquanto a tarifa branca apresenta valores diferentes de consumo de energia elétrica de acordo com o horário de utilização do dia (ANEEL, 2022a).

### **2.2.1 Consumidores**

Os consumidores podem ser classificados entre os Grupos A e B de acordo com a definição da Resolução Normativa ANEEL nº 1000, de 7 de dezembro de 2021. Os consumidores do Grupo A são aqueles atendidos com conexão em tensão superior ou igual a 2,3 kV, ou de sistema subterrâneo de distribuição com conexão inferior a 2,3 kV. Eles são subdivididos em subgrupos de acordo com seu nível de tensão de fornecimento da energia elétrica. Os consumidores do grupo B são aqueles com

conexão em tensão inferior a 2,3 kV, sendo subdivididos em subgrupos de acordo com sua classe, como listado a seguir (ANEEL, 2021):

- Subgrupo B1 – consumidores residenciais;
- Subgrupo B2 – consumidores rurais;
- Subgrupo B3 – consumidores das demais classes e
- Subgrupo B4 – iluminação pública.

Existem dois ambientes de contratação de energia elétrica desde 2004, o Ambiente de Contratação Livre (ACL) e o Ambiente de Contratação Regulado (ACR). O consumidor que integra o ACL é denominado consumidor livre e pode optar de quem irá adquirir a energia através dos agentes de comercialização. O consumidor que integra o ACR é denominado consumidor cativo e sua energia é adquirida, segundo tarifas reguladas, da concessionária ou permissionária da rede em que estão conectados. O consumidor cativo obrigatoriamente é atendido pela distribuidora local, tendo que pagar as tarifas regulamentadas e divulgadas pela ANEEL, como por exemplo os adicionais de bandeira tarifária.

### 2.3 COMERCIALIZADOR VAREJISTA NO BRASIL

O CV possui o propósito de simplificar a atuação de consumidores, pequenos geradores e empresas no mercado livre, uma vez que ele é responsável por toda operação de seus representados e exime os consumidores de se tornarem agentes da CCEE. Entre suas responsabilidades com o consumidor representado, destaca-se todos os trâmites para a migração do consumidor ao ACL, incluindo suas habilitações técnicas na CCEE; e a gestão de todos os procedimentos relacionados à sua operacionalização, como a modelagem, medição, contabilização e obrigações financeiras. O CV possui a obrigação de cumprir com os prazos de elaboração e ajuste de contratos e com todas as demais obrigações setoriais (ANEEL, 2022b).

O CV teve sua regulamentação definida através da Resolução Normativa ANEEL nº 570, de 23 de julho de 2013 (ANEEL, 2013), posteriormente modificada pela Resolução Normativa ANEEL nº 654, de 24 de março de 2015 (ANEEL, 2015 apud RODRIGUES, 2022). Esta serviu de instrumento de aprovação para os Procedimentos de Comercialização, Submódulo 1.6, aprovado em 1º de maio de 2015. O CV pode ser habilitado nas modalidades completa e simplificada. O CV da modalidade Completa tem permissão de representar qualquer consumidor potencialmente livre,

enquanto o CV habilitado na modalidade simplificada é limitado a representar apenas ativos do seu grupo societário ou complexo industrial/comercial. O primeiro agente habilitado para a comercialização varejista ocorreu apenas em julho de 2016. Até o final de 2021, 40 CVs foram habilitados na modalidade completa, conforme Figura 1 (CCEE, 2021).

Figura 1 – Histórico da habilitação de CVs no Brasil.

| Habilitação de Comercializadores Varejistas |                    |                     |              |
|---|--------------------|---------------------|--------------|
| Ano de Ativação                             | Tipo               | Contagem Fechamento | Inabilitação |
| 2016  | Varejista Completo | 3                   |              |
| 2017  | Varejista Completo | 4                   | 1            |
| 2018  | Varejista Completo | 2                   |              |
| 2019  | Varejista Completo | 10                  |              |
| 2020  | Varejista Completo | 7                   |              |
| 2021  | Varejista Completo | 14                  |              |
| TOTAL                                       |                    | 40                  | 1            |

Fonte: CCEE (2021)

A aprovação da Lei nº 14.120, de 1º de março de 2021 inclui mecanismos para o desligamento dos consumidores inseridos ao perfil do CV na CCEE. Esta Lei representa o início de uma modernização da regulação para adesão de todos os consumidores ao mercado livre (BRASIL, 2021c apud RODRIGUES, 2022).

A Resolução Normativa ANEEL nº 1.011, de 29 de março de 2022, corresponde à última atualização regulatória quanto aos requisitos e procedimentos da autorização para a comercialização de energia, inclusive referente ao CV. Nesta RN, evidencia-se a respeito da comercialização varejista (ANEEL, 2022b apud RODRIGUES, 2022):

- a modelagem de ativos de medição se dá sob perfil contábil criado especificamente para cada tipo de geração ou consumo;
- a contabilização dos representados é realizada conforme os perfis contábeis;
- a liquidação financeira das operações é efetivada de forma unificada, em nome do agente representante;

- é permitida a aquisição parcial de energia elétrica junto à distribuidora local, desde que previamente acordado com o varejista correspondente;
- eventuais descontos associados às tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e distribuição são aplicados de maneira uniforme a todas as unidades consumidoras modeladas sob um mesmo perfil contábil;
- a apuração do lastro do agente representante e a constituição de garantias financeiras se dá conforme normas aplicáveis.

A Normativa nº 50/GM//MME estabelece como compulsória a representação perante a CCEE por agente varejista de consumidores do Grupo A com carga individual inferior a 500 kW que aderirem ao mercado livre (BRASIL, 2022a). A compulsoriedade da representação por agente varejista também está presente na minuta, ainda não aprovada, da Portaria nº 690/GM/MME para os consumidores atendidos em baixa tensão (BRASIL, 2022b).

O CV se tornou uma solução adequada para agregar os consumidores de pequeno porte no mercado livre. A figura do CV simplifica as operações dos consumidores especiais e dos comercializadores ao tornar mais segura a tomada de decisão de migração ao mercado livre para os clientes de menor porte. A principal novidade da efetivação da figura do CV no mercado foi a entrada de consumidores físicos ao ACL que cumprem os requisitos para se tornarem consumidores especiais, uma vez que esta é a única forma de migração para este tipo de consumidor. Outro impacto causado pela efetivação da figura do CV foi a estimulação da adoção de energia limpa, uma vez que seu público alvo inicial foi o consumidor especial, que possui a restrição de obter sua energia de fontes incentivadas (DAL RI, 2016).

Entre os pontos negativos da contratação de um CV, observa-se a menor transparência para o consumidor nas contas e medições, já que ele poderia acessar todas as informações na base de dados da CCEE se ele se tornasse agente. Outro ponto negativo é o dever de pagar o custo pelo serviço de gestão do CV, ficando suscetível às mudanças de preço que o CV resolva aplicar (DAL RI, 2016).

## 2.4 COMERCIALIZADOR EM OUTROS PAÍSES

O mercado livre de energia aberto aos consumidores residenciais é adotado em vários países da Europa, como a Inglaterra, Portugal e Alemanha, além do Canadá, Austrália, Nova Zelândia, Colômbia, El Salvador e alguns estados dos

Estados Unidos. Esta seção visa apresentar a operação do mercado livre para consumidores residenciais em outros países, a fim de auxiliar na criação de hipóteses de como a migração poderá ocorrer para os consumidores brasileiros.

#### **2.4.1 Inglaterra**

A energia elétrica na Inglaterra é produzida, vendida e distribuída por empresas privadas. As empresas que vendem a energia são conhecidas como "*retail suppliers*" e o mercado livre de energia é conhecido como "*retail market*". O mercado inglês permite que os consumidores escolham entre diferentes fornecedores de energia elétrica e gás natural e negociem os preços e condições que melhor atendam às suas necessidades. Os consumidores residenciais podem escolher entre uma ampla variedade de fornecedores, que oferecem diferentes planos de energia, tarifas e condições de pagamento.

Os consumidores também têm direitos e proteções adicionais sob a Lei de Fornecimento de Energia, incluindo o direito de mudar de fornecedor a qualquer momento, sem custos adicionais, e o direito de receber informações claras e precisas sobre os preços e serviços oferecidos. O governo inglês é responsável pela regulação do mercado livre através do escritório de mercado de gás e energia (OFGEM), porém desempenha uma parcela mínima na negociação (EU, 2023).

#### **2.4.2 Portugal**

A partir de setembro de 2006, todos os consumidores continentais portugueses passaram a ter a alternativa de escolha de seu fornecedor de energia elétrica. A Diretiva nº 2003/54/CE estabelece que todos os clientes portugueses de energia elétrica poderão escolher livremente seu fornecedor. Isto foi resultado de um processo de liberalização do setor elétrico que ocorreu na maior parte dos países da Europa. O processo de abertura do mercado de energia elétrica em Portugal ocorreu entre 1995 e 2006. O cliente pode realizar a contratação do comercializador de energia elétrica a partir de contrato de fornecimento com comercializadores no mercado liberalizado, com comercializadores de último curso; através de contratação de energia elétrica nos mercados organizados ou contratação bilateral. O cliente pode mudar de

comercializador quantas vezes quiser e o responsável pelo processo de mudança é o operador da rede de distribuição, ou seja, a EDP Distribuição.

Os comercializadores de energia elétrica são livres para a prática de preços, para comprar e vender. Eles têm direito ao acesso da rede de transporte (transmissão) e distribuição mediante pagamento de tarifas. Há determinados comercializadores que desempenham o papel de comercializadores de último recurso (CUR), ou seja, servem de garantia de fornecimento de eletricidade, particularmente para os consumidores mais frágeis (ERSE, 2023).

### 2.4.3 Colômbia

A Colômbia apresenta diversas similaridades com o Brasil, pois são países em desenvolvimento localizados na América do Sul, e ambos possuem uma matriz elétrica predominantemente hidráulica. O mercado de energia elétrica na Colômbia passou por uma grande mudança em 1994, quando o governo colombiano decidiu liberalizar o setor de energia elétrica, que até então era dominado por empresas estatais. Com a liberalização do mercado, as empresas privadas foram autorizadas a entrar no setor, o que aumentou significativamente a competição.

Três agências governamentais são mais relevantes no mercado livre colombiano, sendo elas:

- A *Comisión de Regulación de Energía y Gas* (CREG) é o agente de regulamentação do mercado de energia e gás. A CREG é responsável por definir as tarifas de energia elétrica, estabelecer regras para o mercado de energia elétrica e supervisionar a implementação dessas regras;
- O *Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales* (ASIC) é o agente de operação do mercado. Ele é responsável pelo registro e liquidação de contratos de longo prazo, transações na Bolsa de Valores e manutenção do sistema de informações do Mercado Atacadista de Energia;
- O *Centro Nacional de Despacho* (CND) é o agente de operação do sistema. Ele realiza o planejamento, supervisionamento, controle e operação dos recursos de geração, transmissão e interconexão para garantir uma operação segura, confiável e econômica.

O mercado de energia colombiano possui segmentos atacadista e varejista. O segmento atacadista é muito avançado, tendo contratos bilaterais para negociações ao longo prazo e bolsas de energia para o curto prazo, cujo funcionamento é diário e os preços apresentam discretização horária. O mercado varejista é um tanto limitado, com algumas barreiras para a migração ao mercado livre. Dentre os requisitos para migrar para o mercado livre na Colômbia, está a exigência de uma demanda média mensal maior que 0,1 MW ou consumo médio de 55 MWh por mês nos últimos seis meses. Os consumidores com demanda abaixo de 2 MW necessitam de um comercializador para representá-los no mercado livre. Outro requisito para a migração ao mercado varejista é possuir um equipamento de medição capaz de fazer telemetria, com discretização horária, para acompanhamento da comercializadora responsável. Os custos desses medidores são acordados entre os consumidores e comercializadores ou totalmente arcados pelo consumidor quando há o acesso direto ao mercado atacadista (CREG, 2023).

#### **2.4.4 El Salvador**

A partir da década de 90, El Salvador iniciou um processo de reforma do setor elétrico, com o objetivo de aumentar a eficiência e a competitividade no setor. Em 1996, foi criada a *Superintendencia General de Eletricidad y Telecomunicaciones* (SIGET), que passou a regular o setor elétrico no país.

A *Unidad de Transacciones* (UT) é uma unidade criada pela SIGET para operar o mercado de energia elétrica no país. A UT é responsável por coordenar e supervisionar todas as transações realizadas no mercado de energia elétrica, garantindo a eficiência e a transparência das operações.

Em 2019, foi aprovada a Lei de Regulação de Mercado de Energia Elétrica, que estabeleceu a abertura total do mercado de energia elétrica em El Salvador. Desde então, os consumidores podem escolher o fornecedor de sua preferência, dentre os fornecedores registrados na SIGET, e os geradores também podem vender sua produção para os consumidores que escolherem comprar deles. Ainda é importante mencionar o papel das distribuidoras, que atuam como comercializadores de última instância (CAMPAGNANI, 2021 apud RODRIGUES, 2022).

### 2.4.5 Estados Unidos

Os estados do país têm autonomia para decidirem o processo de abertura de seus mercados de energia. Por este motivo, há estados que continuam no mercado regulado, enquanto outros liberaram apenas parcialmente as escolhas no mercado varejista, e por fim há aqueles estados que eliminaram as restrições para a escolha dos fornecedores. Alguns exemplos de estados que liberaram parcialmente a escolha de fornecedores são: Califórnia, Oregon, Virgínia, Georgia e Michigan. Entre os estados com liberação total do mercado, constam: Nova York, Ohio, Pensilvânia, Illinois e Texas.

No estado de Nova York, os consumidores podem escolher seus fornecedores livremente desde 2003. O *Public Service Commission* (PSC) é o agente responsável pela regulação do setor, enquanto o *New York Independent System Operator* (NYISO) é o agente responsável pela operação do sistema e do mercado de energia elétrica. Em alguns locais de Nova York, os consumidores residenciais podem escolher ter acesso ao mercado livre através de um serviço de representação em massa para os usuários desses locais, serviço este chamado de *Community Choice Aggregation* (CCA). Neste serviço, um comercializador varejista compra energia em nome destes pequenos consumidores. A administração das CCA é realizada pelos governos locais.

No estado da Califórnia, o *California Independent System Operator* (CAISO) é o órgão responsável pela fiscalização e operação do sistema e do mercado. Para os consumidores residenciais, a opção usual de migração ao mercado livre é através da CCA, da mesma forma que em Nova York. Os demais consumidores realizam a migração por meio do *Direct Access*, que trata de um programa onde agentes varejistas são os provedores dos contratos de energia comercializada e atuam independentemente dos responsáveis pelo serviço de distribuição (CAMPAGNANI, 2021).

### 3 DINÂMICA DE SISTEMAS

Este capítulo descreve os conceitos principais da Dinâmica de Sistemas, iniciando com o pensamento sistêmico.

#### 3.1 O PENSAMENTO SISTÊMICO

"A Quinta Disciplina", escrita por Peter Senge, é um livro que apresenta um novo modelo de pensamento empresarial que busca a excelência organizacional por meio da aprendizagem contínua e da colaboração. O autor defende que as organizações precisam desenvolver cinco disciplinas fundamentais para se tornarem eficazes: pensamento sistêmico, domínio pessoal, modelos mentais, visão compartilhada e aprendizado em equipe.

O pensamento sistêmico é a quinta disciplina e o foco do presente trabalho, pois é a base para a Dinâmica de Sistemas (DS), todavia a DS agrega as demais disciplinas. O pensamento sistêmico trata de compreender como as partes de um todo interagem entre si, buscando soluções para os problemas de forma integrada e não isolada. O pensamento sistêmico é um método para analisar as inter-relações entre as variáveis de um sistema. O papel fundamental é ver as interações entre as variáveis do problema analisado, notar a influência que elas geram entre si e visualizar os processos de mudança. O objetivo principal é abordar o problema como um todo, ou seja, como um sistema. Desta maneira, é possível resolver problemas com sistemas complexos (SENGE, 1990).

#### 3.2 DINÂMICA DE SISTEMAS

A técnica de análise e modelagem de Dinâmica de sistemas foi criada por Jay W. Forrester na década de 1960 como uma forma de estudar sistemas complexos que evoluem ao longo do tempo, utilizando a teoria de controle por *feedback* e teoria geral de sistemas ao estudo de sistemas industriais. A concepção inicial desta técnica de análise é apresentada no livro *Industrial Dynamics*, publicado por Forrester em 1961.

Esta técnica envolve a criação de modelos matemáticos que descrevem as interações entre diferentes componentes de um sistema, a fim de entender como essas interações afetam o comportamento do sistema como um todo. A DS utiliza

estoques e fluxos para representar as relações entre as diferentes variáveis que compõem o sistema. A técnica é especialmente útil para lidar com problemas complexos. No contexto da engenharia elétrica, problemas complexos são aqueles modelados com um número significativo de equações diferenciais ou integrais, todavia no contexto da DS, um problema complexo é aquele que envolve aspectos comportamentais dos agentes envolvidos na modelagem. Ao utilizar a análise de dinâmica de sistemas, é possível simular cenários e avaliar o impacto das decisões em longo prazo. A DS representa um avanço na análise de problemas, pois explica e modela os mecanismos de realimentação entre as partes.

O modelo de dinâmica de sistemas é composto por elementos, relações e *feedbacks*. Os elementos são as partes do sistema que estão sendo estudadas, como as variáveis de estoques (ou nível), variáveis de fluxo (taxas) e variáveis de controle. As relações representam como os elementos do sistema interagem e afetam uns aos outros, como entrada e saída de fluxos ou impacto de eventos. Os *feedbacks* ocorrem quando o resultado de uma interação é retroalimentado para o sistema, afetando o comportamento dos elementos. A análise de DS envolve a simulação desses modelos para entender como o sistema pode evoluir ao longo do tempo. Isso permite testar diferentes cenários e entender como as mudanças em um elemento podem afetar todo o sistema (FORD, 1999).

A DS traz algumas facilidades, como: a possibilidade de tratar aspectos de longo e curto prazo num mesmo modelo; a representação completa de relações complexas e não-lineares; a possibilidade de representar variáveis sociais e psicológicas; e a facilidade com que os efeitos de alternativas políticas podem ser tratados. Diferentemente das técnicas tradicionais, que enfatizam a modelagem dos fluxos físicos, a DS busca representar tanto os fluxos físicos, que podem ser conservados e acumulados, quanto os fluxos de informação, que podem ser observados, mas não acumulados (BORDIN, 2000).

Andrew Ford (1999 apud BORDIN, 2000) propôs oito etapas para a modelagem do sistema através da DS, as quais são descritas a seguir.

### **3.2.1 Compreensão do Sistema**

A compreensão do sistema é fundamental para a construção do modelo utilizando a DS, pois consiste na busca de fatores que exercem influência no

comportamento do sistema. Os fatores relevantes podem ser tanto internos ao sistema quanto externos. A compreensão do sistema estudado vem de inúmeros fatores, como a observação, a discussão, experiências anteriores, testes empíricos, dentre outros.

De acordo com Bordin (2000), o sistema pode ser caracterizado pelo seu estado, que é o conjunto de propriedades relevantes num dado período. As variáveis externas devem também ser consideradas, pois as mudanças no ambiente externo podem induzir alterações no estado do sistema.

Segundo Stermán (2000), a arte da construção de modelos é saber o que desconsiderar. Ele fornece os critérios para decidir o propósito do que pode ser ignorado, de modo que apenas as características essenciais necessárias para cumprir o propósito sejam deixadas. Isto mostra a importância de conhecer o sistema para poder selecionar os fatores que possuem influência relevante para compreender e modelar o problema analisado e criar políticas para resolvê-lo.

### **3.2.2 Modo de Referência**

Segundo Ford (1999), o modo de referência é um gráfico a ser desenhado a partir da observação do problema, onde é apresentado o comportamento esperado da principal variável, ou seja, da variável de interesse para a análise. Ele serve como um padrão-alvo de comportamento, para posteriormente ser comparado com o resultado da simulação.

Segundo Forrester (2009), o resultado de um modelo simulado pode ser absurdo, ou ainda a simulação pode ter um comportamento impossível. Para saber identificar estes casos, é necessário ter compreensão do sistema e também conhecer o comportamento esperado, demonstrado a partir do modo de referência, para fazer os ajustes necessários no modelo e torna-lo mais robusto e realístico.

### **3.2.3 Diagrama de Laço Causal**

Os Diagramas de Laço Causal (DLCs) são diagramas que descrevem um problema e representam um sistema, explicitando as relações de causa e efeito dentro do contexto do problema. Os DLCs constituem a base para a construção de modelos, uma vez que ele fornece uma visão global da estrutura causal do sistema. A

caracterização do sistema a partir da identificação de laços causais é a característica principal da DS (BORDIN, 2000).

De acordo com Sterman (2000), DLCs são excelentes para:

- Capturar rapidamente sua hipótese a respeito da causa da dinâmica.
- Provocar e capturar os modelos mentais dos indivíduos ou equipes.
- Comunicar os *feedbacks* importantes que se acredita serem responsáveis pelo problema.

Alguns conceitos devem ser caracterizados para construir o DLC, como a relação causal, a corrente causal, os laços causais e o atraso no tempo, assim como as suas representações.

#### ▪ **Relação Causal**

A relação causal é a relação causa e efeito de uma variável sobre outra. Ela é representada através de uma seta, sendo que a variável que aparece no início da seta é chamada de variável causal e aquela na ponta é dita variável afetada. Neste padrão de representação, a seta indica a direção de causalidade entre a variável causal e a variável afetada (BORDIN, 2000).

As setas vêm acompanhadas de um sinal positivo (+) ou negativo (-), indicando a polaridade da relação causal, ou seja, se as variáveis mudam na mesma direção. Desta forma, uma seta com símbolo positivo indica que um aumento da variável causal causa um aumento na variável afetada acima do que teria ocorrido se não tivesse o aumento da variável causal. Já, uma diminuição da variável causal causa uma diminuição na variável afetada maior que teria ocorrido se não tivesse a diminuição da variável causal. Uma seta com símbolo negativo indica que um aumento na variável causal reflete em uma diminuição da variável afetada maior que teria ocorrido se não tivesse o aumento da variável causal, e da mesma forma uma diminuição na variável causal indica um aumento na variável afetada acima do que teria ocorrido se não tivesse a diminuição da variável causal (STERMAN, 2000).

### ▪ Corrente Causal

A corrente causal é caracterizada por uma sucessão de relações causais. Uma mesma variável pode ser afetada em uma relação e causal em outra. A Figura 2 exemplifica uma corrente causal.

Figura 2 – Exemplo de Corrente Causal



Fonte: Bordin (2000).

A Figura 2 representa uma corrente causal composta por duas relações causais de polaridade positiva. A variável “Demanda Livre” é afetada pela variável “Metas de participação do mercado”, porém é causal da variável “Faturamento”.

### ▪ Laço Causal

O laço causal, ou *feedback*, é o fechamento de um laço a partir de uma corrente causal. Uma parte essencial da DS é identificar e representar os laços causais, uma vez que eles determinam a dinâmica do sistema (STERMAN, 2000). A principal característica da DS é a caracterização do problema a partir da identificação de laços causais (BORDIN, 2000).

Os laços podem ser de reforço ou de equilíbrio. O laço de reforço é um tipo de *feedback* positivo, em que o resultado de uma ação aumenta a probabilidade de que essa mesma ação seja repetida. Isso significa que um pequeno desequilíbrio pode se amplificar rapidamente, levando o sistema a um estado de caos ou colapso. Um exemplo comum de um laço de reforço é o efeito bola de neve: uma pequena bola de neve descendo a montanha acumula mais neve e aumenta de tamanho, ganhando mais velocidade. O laço de equilíbrio é um tipo de *feedback* negativo, em que o resultado de uma ação reduz a possibilidade de que essa mesma ação seja repetida. Isso significa que um pequeno desequilíbrio pode ser compensado pelo próprio sistema, levando-o a retornar a um estado de equilíbrio. Um exemplo comum de um laço de equilíbrio é o termostato de uma casa: quando a temperatura fica muito alta, o termostato desliga o aquecedor, reduzindo a temperatura (SENGE, 1990).

- **Atraso**

Outro conceito importante na modelagem por esta técnica é o atraso, ou *delay*, que corresponde a um atraso temporal entre a ação e o resultado. Isso significa que as consequências de uma ação podem levar algum tempo para serem percebidas, o que pode levar a um desequilíbrio no sistema (SENGE, 1990). A forma mais usual de representar o atraso na relação causal entre duas variáveis é adicionar dois traços, um ao lado do outro, perpendiculares à seta que indica a relação.

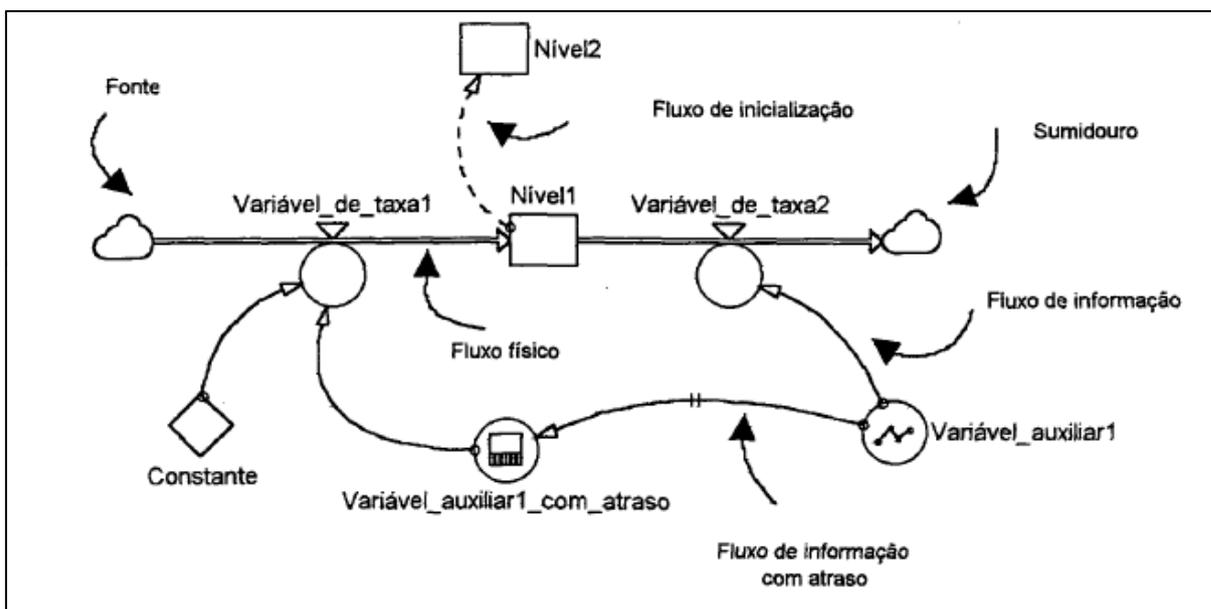
### **3.2.4 Diagrama de Estoque e Fluxo**

O diagrama de Estoque e Fluxo (DEF) é utilizada para implementar o modelo computacional, tendo o objetivo de transformar a análise qualitativa em análise quantitativa.

Os estoques (variáveis de nível) e os fluxos, em conjunto com os laços causais, são conceitos centrais de DS. Estoques são acumulações. Eles geram a informação na qual as decisões e ações são baseadas. Os estoques caracterizam o estado do sistema e fornecem a base para a ação. Eles possuem a propriedade de fazer os sistemas terem memória, uma vez que acumulam os eventos passados. Eles podem ampliar ou atenuar distúrbios. Os fluxos de entrada e de saída são as únicas formas de modificar o estado de um estoque (STERMAN, 2000).

A simbologia para a representação de diagramas de estoque e fluxo é padronizada, conforme mostrado na Figura 3 (FORRESTER, 1990 apud BORDIN, 2000).

Figura 3 – Exemplo de Diagrama de Estoque e Fluxo



Fonte: Bordin (2000).

Os elementos presentes na Figura 3 são descritos a seguir (BORDIN, 2000):

- **Níveis:** as variáveis de nível são os estoques do sistema, equacionadas a partir de integrações das variáveis de taxa conectadas a ela por meio de um fluxo físico. São representadas por um retângulo;
- **Taxas:** as variáveis de taxa são as derivadas utilizadas nas integrações dentro dos níveis, logo servem como o controle de um fluxo que está conectado a uma variável de nível. Elas podem receber informação de constantes, variáveis auxiliares e variáveis de nível. As informações são recebidas através de um fluxo de informação. A representação gráfica da variável de taxa é uma válvula.
- **Auxiliares:** as variáveis auxiliares são utilizadas no equacionamento das variáveis de taxa e são representadas por um círculo;
- **Parâmetros:** os parâmetros são as constantes do sistema, fixas durante toda a simulação do mesmo. Elas são representadas por um losango;
- **Linhas de fluxo:** O fluxo é a razão entre uma unidade de grandeza por uma unidade de tempo. As linhas de fluxo podem ser classificadas em conservativos (físicos) ou não conservativos (informação). Os fluxos físicos podem ser movidos entre lugares e são representados por linhas duplas. Os fluxos de informação auxiliam na tomada de decisão e são representados por linhas simples cheias. Há ainda, para motivos de simulação, o fluxo de inicialização das variáveis de nível, uma vez que a simulação é realizada a partir de um

instante de tempo que a variável de nível já possui um valor, e este fluxo é representado por uma linha pontilhada;

- **Atraso:** Representa o atraso no tempo para a ação daquela variável. No diagrama de estoque e fluxo, sua representação é de dois traços na linha de fluxo entre as variáveis de efeito e de causa;
- **Retirada de informação:** Esta retirada ocorre sobre uma variável sem que esta seja afetada. Ela é representada por um círculo na região externa do símbolo da variável que cede a informação, sendo que não representa a remoção do conteúdo da variável e sim a transferência de informação sobre sua magnitude;
- **Fontes e sumidouros:** As fontes e sumidouros representam os limites do modelo, origem e destino, em que há geração e desaparecimento de fluxo respectivamente. A representação gráfica para ambos é uma nuvem.

### 3.2.5 Estimação de valores de Parâmetros

A estimação de valores de parâmetros é a etapa em que é atribuído valores numéricos aos parâmetros do sistema e deve ser realizada de forma individualizada para cada parâmetro. Os parâmetros possuem diferentes faixas de incerteza, podendo ser exatos, bastante precisos, pouco precisos ou totalmente desconhecidos (BORDIN, 2000).

A atribuição de valores pode ser dada a partir de dados numéricos, dados escritos ou ainda dados empíricos. Desta forma, os dados devem ser tratados de forma quantitativa para os dados numéricos e de forma qualitativa para os dados escritos e empíricos. Deve-se tentar estimar valores numéricos para os parâmetros advindos de dados escritos ou empíricos, uma vez que a não estimação de um dos parâmetros do sistema por falta de dados numéricos implica na anulação dos efeitos deste parâmetro no sistema (FORD, 1999). Deve-se utilizar sempre de fontes confiáveis para realizar a estimação dos parâmetros.

### 3.2.6 Simulação do Modelo

Na etapa de simulação do modelo, é verificado se o resultado obtido da simulação está de acordo com o comportamento previsto no modo de referência. Caso o comportamento esteja condizente, é dito que o modelo está consistente. Se há

discrepâncias entre o resultado obtido e o esperado, deve-se retornar às etapas anteriores para ajustar e refinar o modelo, seja adquirindo mais conhecimento sobre o sistema para expandi-lo, revendo e modificando os diagramas de laço causal e de estoque e fluxo, revendo o equacionamento da relação entre as variáveis ou verificando a estimação de valores dos parâmetros.

### **3.2.7 Análise de Sensibilidade**

A etapa da Análise de Sensibilidade visa realizar testes para verificar se os resultados são sensíveis às variações dos parâmetros. O sistema pode ser considerado robusto se, após cada teste, o resultado da simulação se mantém adequado ao Modo de Referência para a situação do teste (BORDIN, 2000).

As etapas para realizar o teste de sensibilidade são (BAUMGARTEN, 2016):

- Seleção dos parâmetros ou grupo de parâmetros que se considera que mais afetam o comportamento do modelo;
- Modificação dos valores de cada grupo separadamente a partir de uma referência e efetuar a validação dos resultados;
- Identificação daqueles parâmetros que, quando modificados, afetam o comportamento do modelo;
- Análise das mudanças de comportamento. Verificar se são justificáveis a partir da teoria ou do senso comum.

### **3.2.8 Teste de Políticas**

O teste de políticas permite avaliar a validade das políticas adotadas a partir da variação das estimativas das variáveis políticas, controladas pelo projetista (BORDIN, 2000). A partir destes testes, é possível avaliar quais políticas são mais relevantes no resultado da variável de interesse, ou seja, que tem maior impacto na resposta do modelo.

Essas políticas tornam-se base para a definição de planos de ação que estabelecem as diretrizes para programas que são implementados na forma de projetos. Verifica-se, desta forma, as políticas necessárias para chegar ao objetivo proposto (ALVEZ, 2008 apud BAUMGARTEN, 2016).

## 4 METODOLOGIA PROPOSTA

Este capítulo apresenta a metodologia para avaliar o comportamento dinâmico da migração de consumidores residenciais para o mercado livre de energia brasileiro, considerando o comercializador varejista, através das etapas apresentadas no capítulo anterior. O modelo computacional foi implementado com o *software* Powersim Studio versão 10.

### 4.1 CONHECIMENTO DO SISTEMA

A compreensão do sistema a ser modelado é uma etapa fundamental para realizar a modelagem através da DS. Assim, descrevem-se as principais variáveis que influenciam na migração dos consumidores residenciais para o ACL.

- **CVs:** empresas que serão responsáveis por representar os consumidores residenciais perante a CCEE. A evolução da competição entre as empresas de comercialização varejista terá impacto nos valores cobrados pelas mesmas para os consumidores na sua contratação e nas faturas de energia elétrica no ACL;
- **Fatura de Energia Elétrica no ACL:** valor a ser pago pelo consumidor residencial no ACL para receber a energia elétrica, composto pelo preço da compra de energia elétrica, pelo custo cobrado pelo CV, pelos encargos e pela Tarifa de Transporte;
- **Custo inicial da migração:** todo o custo que o consumidor precisa pagar para realizar a migração para o ACL, composto pelos encargos de migração e pelo custo de contratação do CV;
- **Encargos de Migração:** encargos, cobrados pelo governo, que podem ser criados para o consumidor que faça a transição para o ACL;
- **Custo de Contratação do CV:** custo que o consumidor deverá pagar para realizar a contratação do CV quando decidir migrar para o ACL. Como considera-se que a contratação do agente varejista será um requisito para a migração dos consumidores atendidos em BT, o custo de contratação do mesmo terá que ser pago obrigatoriamente pelo consumidor residencial que decida migrar para o ACL;

- **Tempo de retorno do investimento:** tempo necessário para o consumidor recuperar o custo inicial da migração através da economia do valor pago pela energia elétrica no ACL em relação ao que seria pago no ACR;
- **Regulamentação:** regulamentação vigente durante e após a abertura do mercado livre para os consumidores residenciais terá um papel fundamental, pois as medidas governamentais tornarão a migração mais ou menos atrativa;
- **Marketing:** estratégias de *marketing* são definidas de acordo com seu público-alvo, que se traduz no percentual do mercado potencial que se deseja atingir;
- **Publicidade:** principal meio de informar os consumidores residenciais da possibilidade e das vantagens de migrar ao ACL;
- **Comodidade:** inércia que os consumidores possuem para aderir a novas ideias, produtos e alternativas;
- **Boca a boca:** troca de informação entre os consumidores residenciais a respeito da possibilidade de migração para o ACL;
- **Cultura:** nível cultural está relacionado à busca pelo conhecimento de novas ideias e tecnologias, assim como à resistência a adesão das mesmas;
- **Renda:** consumidores de diferentes classes de renda tendem a tomar decisões distintas quanto realizar ou não um investimento a partir do custo do investimento e de seu retorno;
- **Decisão do consumidor pelo ACL:** representa o percentual dos consumidores que migram em determinado período de tempo em relação ao total dos consumidores potenciais que ainda se encontravam no ACR no início deste período.

Os dados de entrada do modelo referentes às variáveis descritas acima são apresentados na seção 4.5.

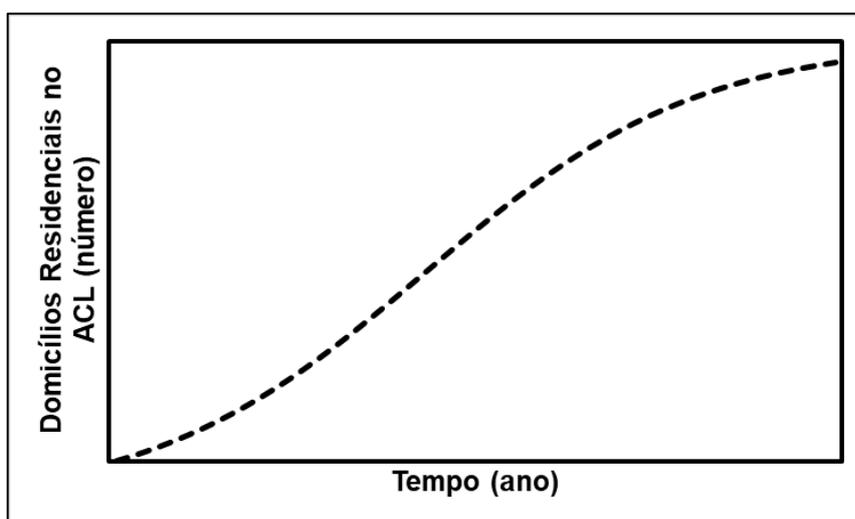
## 4.2 MODO DE REFERÊNCIA

O modo de referência é a representação do comportamento esperado ao longo do tempo da principal variável do sistema. Para este projeto, é o número de domicílios

residenciais no ACL. A primeira alternativa para embasar a definição do modo de referência é a utilização de dados históricos, porém não existem para o problema sob análise, uma vez que a abertura do ACL ainda não ocorreu no Brasil para os consumidores residenciais. Os dados históricos para a migração dos consumidores do grupo A (alta tensão) para o mercado livre não auxiliam para a construção do modo de referência, uma vez que os consumidores deste grupo possuem características distintas dos consumidores residenciais (baixa tensão) e a regulamentação referente à migração na época é diferente daquela que estará vigente para os consumidores residenciais.

A alternativa utilizada para a definição do modo de referência é a busca de modelos matemáticos na teoria econômica para explicar como deve ocorrer a adesão dos domicílios residenciais ao ACL. O modelo matemático adotado é o Modelo de difusão de Bass, proposto por Frank Bass no final da década de 60 para a adoção de novos produtos e tecnologias. A teoria do modelo de difusão de Bass explica que há uma quantidade de inovadores, que são as pessoas que adotam primeiramente o produto, e os imitadores, que são influenciadas pela compra do produto pelos inovadores. De acordo com o modelo, a quantidade de inovadores começa em determinado nível e decai rapidamente, seguido por um pico de imitadores que também decai em seguida. O gráfico do total de pessoas que aderem o produto pelo tempo, dado pela soma dos inovadores com os imitadores, possui um formato de “S”. A Figura 4 apresenta o modo de referência, com a curva de domicílios residenciais no ACL pelo tempo de acordo com o modelo de difusão de Bass.

Figura 4 – Modo de Referência



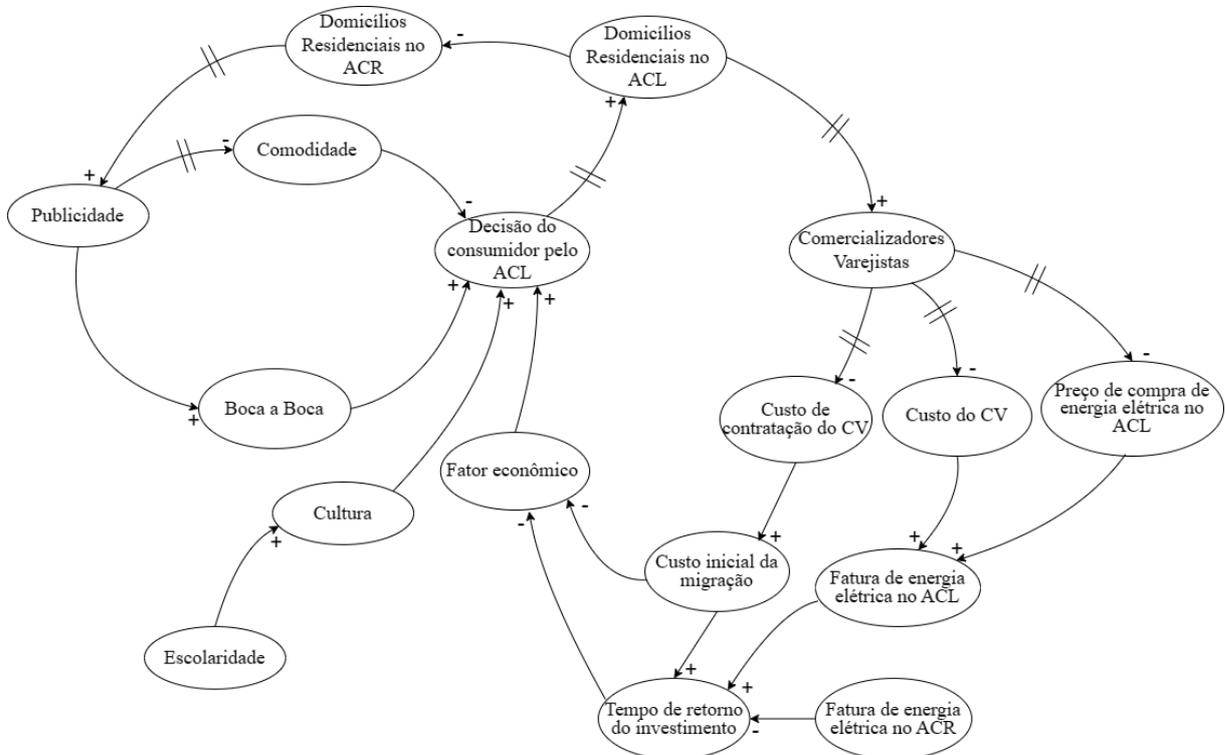
Fonte: o autor

Os inovadores na adesão ao ACL serão aqueles domicílios de consumidores que migrarão nos dois anos iniciais devido: à publicidade intensa que deverá ter nos anos iniciais ou ao conhecimento prévio sobre a migração para o ACL de outras categorias de consumidores e sua vantagem econômica em relação ao ACR. Os imitadores serão aqueles que seguem os inovadores devido: ao efeito do boca a boca entre os consumidores no ACL e no ACR sobre as vantagens da migração ou devido ao conjunto da publicidade remanescente com a vantagem econômica da migração.

#### 4.3 DIAGRAMA DE LAÇO CAUSAL

Conforme tratado no Capítulo 3, o Diagrama de Laço Causal representa o problema estudado como um sistema, explicitando as relações de causa e efeito entre as variáveis relevantes do problema. A Figura 5 apresenta o DLC para o problema analisado, em que é possível visualizar as relações causais entre as principais variáveis e os principais laços de realimentação. Estes laços de realimentação podem ser positivos ou negativos, como ocorre na teoria de controle de sistemas.

Figura 5 – Diagrama de Laço Causal



Fonte: o autor

Como mostrado na Figura 5, a adesão de “Domicílios Residenciais no ACL” é definido a partir da variável “Decisão do consumidor pelo ACL”. Esta variável depende



A diminuição do “Custo de contratação do CV” representa uma diminuição no “Custo inicial da migração”, que por sua vez ocasiona na diminuição do “Tempo de retorno do investimento”. Já as diminuições no “Custo do CV” e no “Preço de compra de energia elétrica no ACL” representam uma diminuição no valor do “Fatura de energia elétrica no ACL” e, por consequência, no “Tempo de retorno do investimento”. “Custo inicial de migração” e “Tempo de retorno do investimento” menores causam um maior “Fator econômico”, que leva a uma maior “Decisão do consumidor pelo ACL”. Os laços de realimentação contendo os “Comercializadores Varejistas” são positivos, pois contêm uma quantidade par de relações causais negativas.

#### 4.3.2 Laço de Realimentação da “Comodidade”

A Figura 7 ilustra o laço de realimentação do DLC relacionado à “Comodidade”. Esta variável representa a inércia típica dos brasileiros de aderirem a novos produtos ou ideias.

Figura 7 – Laço de Realimentação da “Comodidade”



Fonte: o autor

A Figura 7 ilustra que o número de “Domicílios Residenciais no ACR” diminui conforme a quantidade de “Domicílios Residenciais no ACL” aumenta. A intensidade das políticas públicas de “Publicidade” para promover a atração para o mercado livre é relacionada ao tamanho do público-alvo, neste caso, os “Domicílios Residenciais no ACR”. A “Publicidade” é o principal fator de diminuição da “Comodidade” dos consumidores. Uma vez que o número de “Domicílios Residenciais no ACR” diminui com a migração, a intensidade da “Publicidade” também diminui. A diminuição na

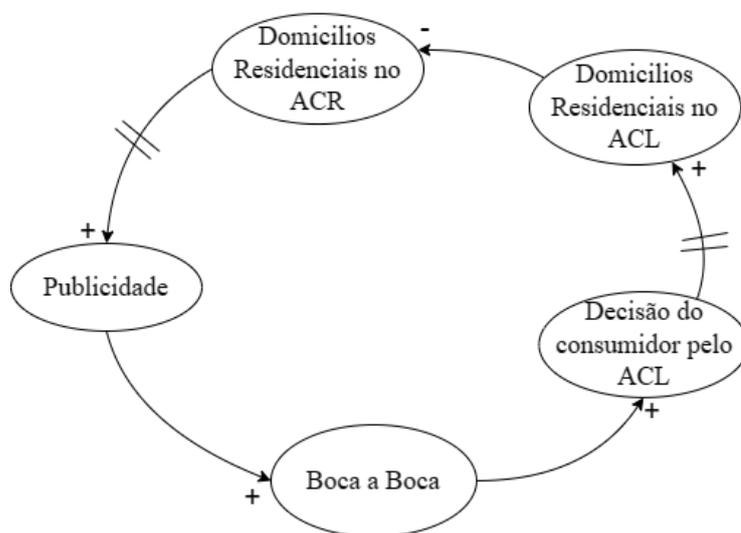
“Comodidade” provoca uma maior “Decisão do consumidor pelo ACL”, que reflete numa maior migração. O laço de realimentação ilustrado na Figura 7 contendo a “Comodidade” é negativo, pois contém uma quantidade ímpar de relações causais negativas, logo é um dos laços responsáveis por promover estabilidade ao sistema.

No início do processo de migração, o número de “Domicílios Residenciais no ACR” é alto, assim como a intensidade da “Publicidade”, o que causa uma diminuição da “Comodidade” dos consumidores no ACR. Com a migração mais avançada, o número de “Domicílios Residenciais no ACR” é menor, o que reflete numa intensidade inferior de “Publicidade”, e por consequência em um nível maior de “Comodidade” entre os domicílios que permanecem no ACR.

#### 4.3.3 Laço de Realimentação do “Boca a Boca”

A Figura 8 ilustra o laço de realimentação do DLC relacionado ao “Boca a Boca”. Esta variável representa o nível de conversa entre consumidores residenciais a respeito da migração ao ACL.

Figura 8 – Laço de Realimentação do “Boca a Boca”



Fonte: o autor

Uma parcela desta conversa ocorre entre consumidores no ACR com outros no ACL, promovida pela vantagem financeira de migrar ao ACL. A outra parcela do “Boca a Boca” com relevância significativa ocorre entre dois ou mais consumidores no ACR promovida pela “Publicidade”.

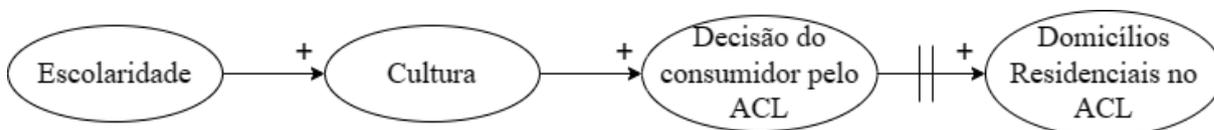
Como abordado na seção 4.3.2, a migração dos domicílios para o ACL causa uma diminuição no número de “Domicílios residenciais no ACR”, que causa uma

diminuição na intensidade da “Publicidade. Como consequência, há uma diminuição na parcela do “Boca a Boca” relacionado à “Publicidade”, seguido de uma diminuição na “Decisão do consumidor pelo ACL” e na migração para o ACL. O laço de realimentação ilustrado na Figura 8 contendo o “Boca a Boca” é negativo, pois contém uma quantidade ímpar de relações causais negativas, logo é um dos laços responsáveis por promover estabilidade ao sistema.

#### 4.3.4 Corrente Causal da “Cultura”

A Figura 9 mostra a corrente causal do DLC relacionado à “Cultura”. Esta variável representa o nível cultural do público-alvo da migração ao ACL. O nível de “Escolaridade” do público-alvo está diretamente relacionado com o interesse por temas atuais, como o mercado livre de energia, e, portanto, está diretamente relacionado a sua “Cultura”. Um aumento no nível cultural ocasiona numa menor resistência a adesão de novas ideias e tecnologias, o que pode induzir numa maior “Decisão do Consumidor no ACL”.

Figura 9 – Corrente Causal da “Cultura”



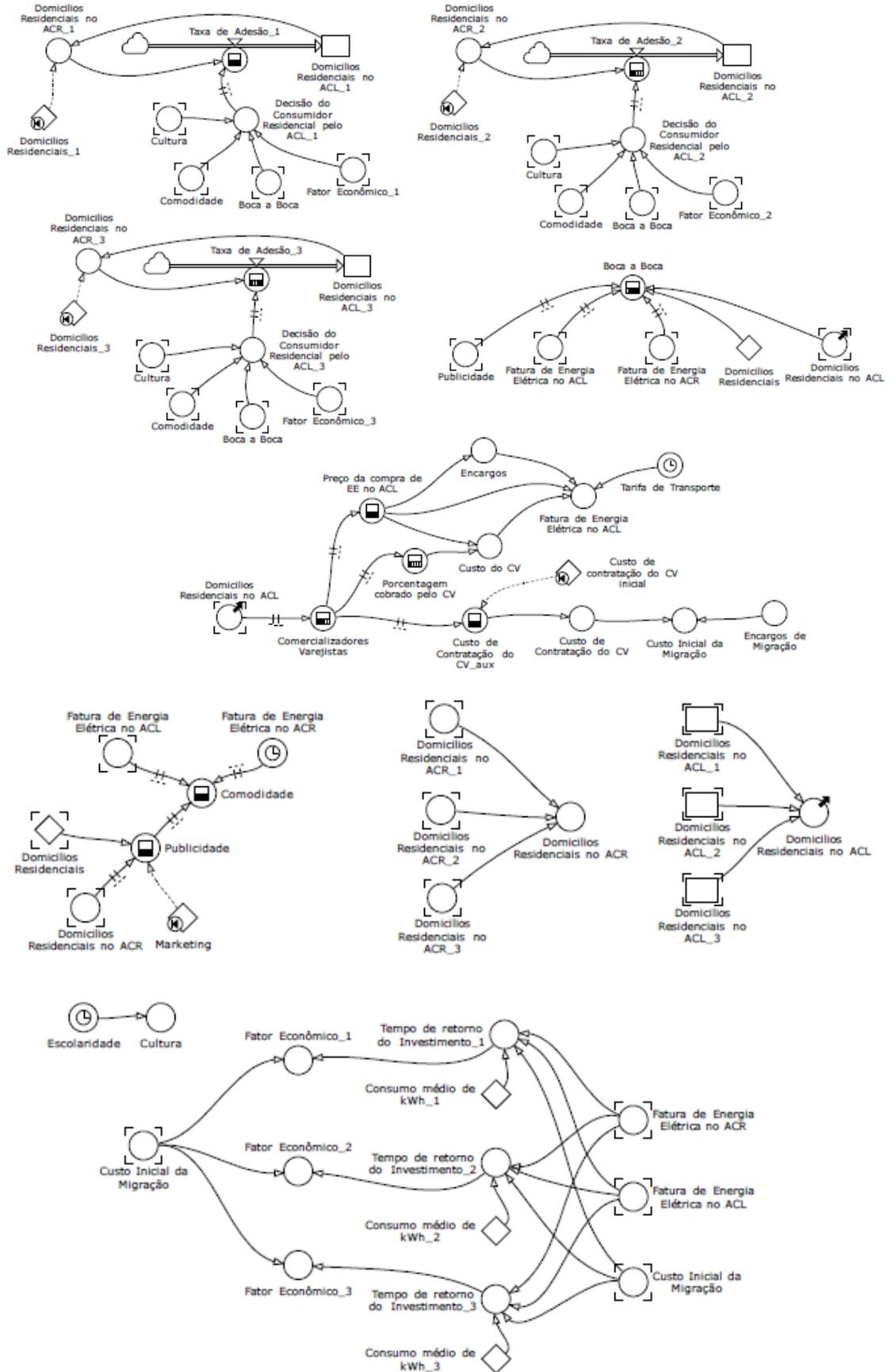
Fonte: o autor

#### 4.4 DIAGRAMA DE ESTOQUE E FLUXO

Nesta etapa, o modelo computacional é implementado através da construção do DEF e da modelagem matemática das interações entre as variáveis. A modelagem computacional é realizada com a utilização do *software* Powersim Studio versão 10 (POWERSIM STUDIO, 2016). O DEF do modelo computacional completo é apresentado na Figura 10

O modelo está dividido em partes para melhor compreensão do leitor. As partes, seus respectivos DEFs e modelagens matemáticas são apresentadas e detalhadas na sequência.

Figura 10 – Diagrama de Estoque e Fluxo do modelo completo

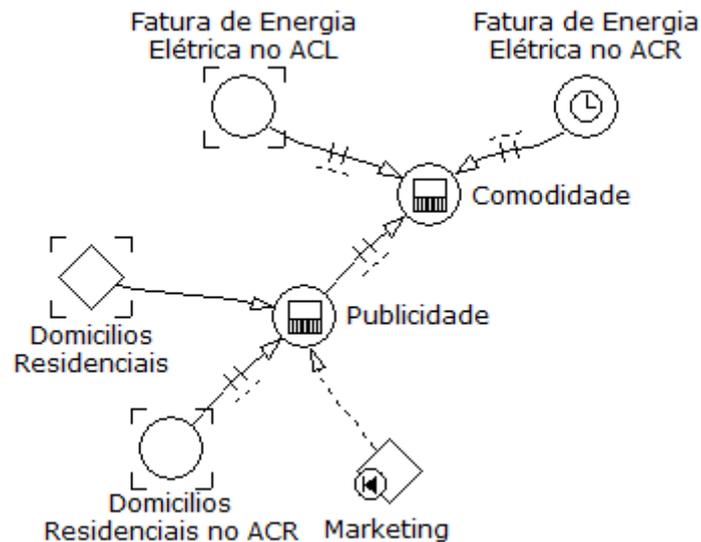


Fonte: o autor

#### 4.4.1 Comodidade e Publicidade

A Figura 11 apresenta a parte do modelo computacional que define a “Publicidade” e a “Comodidade”.

Figura 11 – DEF da Comodidade



Fonte: o autor

A “Publicidade” é diretamente relacionada com as estratégias de “*Marketing*” e com a parcela do seu mercado potencial que ainda não realizou a migração, ou seja, com os “Domicílios Residenciais no ACR”. Aplicou-se um *delay* de três meses na relação entre os “Domicílios Residenciais no ACR” e a “Publicidade” para representar o tempo que demora para a intensidade da publicidade ser ajustada com o avanço da migração. A formulação da “Publicidade” é mostrada na Equação (1).

$$Pub(t) = Mkt. \left[ \frac{Dom\_ACR(t-3)}{Dom} \right]^4 \quad (1)$$

Onde:

$Pub(t)$  é a intensidade da publicidade (adimensional);

$Mkt$  é o *marketing* (adimensional);

$Dom\_ACR(t-3)$  é a quantidade de domicílios residenciais no ACR com um *delay* de três meses (domicílios);

$Dom$  é a quantidade total de domicílios residenciais do mercado potencial (domicílios).

A “Comodidade” do consumidor é diminuída em função da “Publicidade” na qual ele está exposto e da comparação entre as variáveis econômicas do ACR e do ACL.

Para modelar esta relação, são criados subfatores para a influência da “Publicidade” e das variáveis econômicas na “Comodidade” e atribuídos pesos para cada um deles. Os pesos 0,85 e 0,15 foram determinados empiricamente e através de testes no modelo. A Equação (2) apresenta a modelagem realizada para a “Comodidade”.

$$Com(t) = 1 - 0,85.SF_{PUB-COM}(t) - 0,15.SF_{ECON-COM}(t) \quad (2)$$

Onde:

$Com(t)$  é a intensidade da comodidade (adimensional);

$SF_{PUB-COM}(t)$  é o subfator da publicidade na comodidade (adimensional);

$SF_{ECON-COM}(t)$  é o subfator das variáveis econômicas na comodidade (adimensional).

O efeito da “Publicidade” na “Comodidade” do consumidor não é imediato. No período inicial da migração, a “Publicidade” encontra-se em seu maior valor, porém a percepção da publicidade pelo consumidor é baixa, assim como seu efeito na “Comodidade”. Para modelar estes fenômenos, é atribuído um *delay* de 12 meses na “Publicidade”, além de multiplica-la por uma função matemática dependente do tempo. Esta função possui valor nulo em  $t=0$  e se aproxima de 1 com o aumento de  $t$ , modelando o efeito nulo da “Publicidade” no início do período da migração e o crescimento do efeito da “Publicidade” com o passar do tempo. A Equação (3) apresenta a modelagem para o subfator da “Publicidade” na “Comodidade”, onde pode-se verificar a função descrita acima.

$$SF_{PUB-COM}(t) = \left( \frac{2}{1 + e^{-t/3}} - 1 \right) \cdot Pub(t - 12) \quad (3)$$

Onde:

$SF_{PUB-COM}(t)$  é o subfator da publicidade na comodidade (adimensional);

$t$  é o tempo desde o início da abertura do mercado (meses);

$Pub(t - 12)$  é a intensidade da publicidade com um *delay* de 12 meses (adimensional).

O subfator que quantifica o efeito das variáveis econômicas na “Comodidade” é modelado a partir dos valores das faturas de energia elétrica no ACL e no ACR. Um *delay* de seis meses é aplicado para ambas as faturas devido à demora típica que os consumidores residenciais tem de acompanhar e reagir a sua fatura de energia elétrica. O equacionamento deste subfator é apresentado na Equação (4).

$$SF_{ECON-COM}(t) = 1 - \frac{Fat\_ACL(t-6)}{Fat\_ACR(t-6)} \quad (4)$$

Onde:

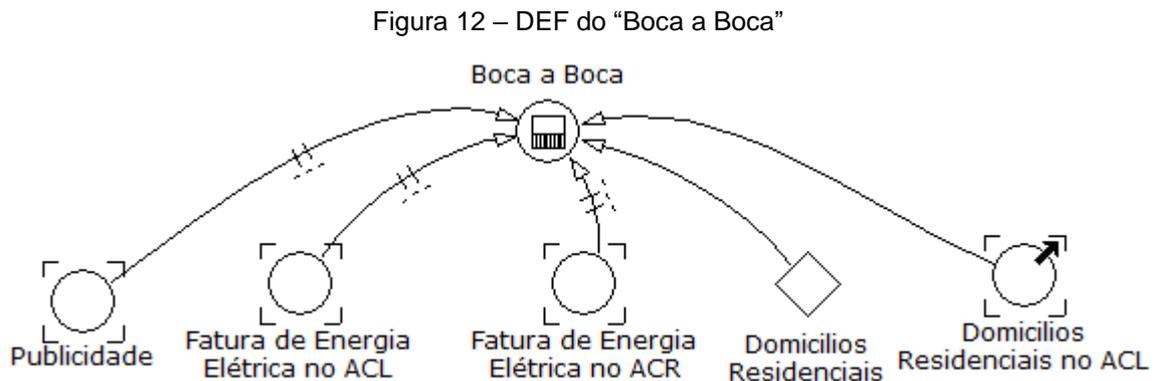
$SF_{ECON-COM}(t)$  é o subfator das variáveis econômicas na comodidade (adimensional);

$Fat\_ACL(t-6)$  é a fatura de energia elétrica no ACL com um *delay* de 6 meses (R\$/(kWh.mês));

$Fat\_ACR(t-6)$  é a fatura de energia elétrica no ACR com um *delay* de 6 meses (R\$/(kWh.mês)).

#### 4.4.2 Boca a Boca

A Figura 12 apresenta a parte do modelo computacional que define o “Boca a Boca”.



Fonte: o autor

O “Boca a Boca” deve ocorrer principalmente entre consumidores de ACR e do ACL motivado pelas vantagens financeiras do ACL em relação ao ACR. Uma parcela menor do “Boca a Boca” ocorre entre consumidores do ACR motivado pela “Publicidade”. Para modelar as parcelas componentes do “Boca a Boca”, são criados subfatores para a influência das variáveis econômicas e da “Publicidade” na mesma e atribuídos pesos para cada um deles. Os pesos 0,95 e 0,05 foram determinados empiricamente e através de testes no modelo. A Equação (5) apresenta a modelagem realizada para o “Boca a Boca”.

$$BB(t) = 0,95.SF_{ECON-BB}(t) + 0,05.SF_{PUB-BB}(t) \quad (5)$$

Onde:

$BB(t)$  é a intensidade do “Boca a Boca” entre os consumidores do mercado potencial (adimensional);

$SF_{ECON-BB}(t)$  é o subfator das variáveis econômicas no “Boca a Boca” (adimensional);

$SF_{PUB-BB}(t)$  é o subfator da publicidade no “Boca a Boca” (adimensional).

A intensidade do “Boca a Boca” causado pelas variáveis econômicas da migração é modelada a partir das parcelas integrantes desta parcela do “Boca a Boca”, ou seja, pelos “Domicílios Residenciais no ACL” e “Domicílios Residenciais no ACR”. Ela também está relacionada com os valores das faturas de energia elétrica no ACL e no ACR, as quais são aplicadas um *delay* de 6 meses pelo mesmo motivo explicado na seção 4.4.1. O subfator que representa esta parcela do “Boca a Boca” é modelado através da Equação (6).

$$SF_{ECON-BB}(t) = \frac{Dom\_ACL(t) \cdot Dom\_ACR(t)}{Dom^2} \cdot \left[ 1 - \frac{Fat\_ACL(t-6)}{Fat\_ACR(t-6)} \right] \quad (6)$$

Onde:

$SF_{ECON-BB}(t)$  é o subfator das variáveis econômicas no “Boca a Boca” (adimensional);

$Dom\_ACL(t)$  é a quantidade de domicílios residenciais no ACL (domicílios);

$Dom\_ACR(t)$  é a quantidade de domicílios residenciais no ACR (domicílios);

$Dom$  é a quantidade total de domicílios residenciais do mercado potencial (domicílios);

$Fat\_ACL(t-6)$  é a fatura de energia elétrica no ACL com um *delay* de 6 meses (R\$/(kWh.mês));

$Fat\_ACR(t-6)$  é a fatura de energia elétrica no ACR com um *delay* de 6 meses (R\$/(kWh.mês)).

A intensidade do “Boca a Boca” causado pela “Publicidade” é proporcional a própria publicidade, além de ser proporcional à quantidade de seus integrantes, os “Domicílios Residenciais no ACR”. Um *delay* de três meses é atribuído à “Publicidade” para modelar o atraso que existe entre essa variável e o “Boca a Boca” que essa causa. A parcela de “Domicílios Residenciais no ACR” é considerada ao quadrado na formulação matemática, pois esta parcela do “Boca a Boca” ocorre entre dois domicílios deste tipo. O subfator que representa esta parcela do “Boca a Boca” é modelado através da Equação (7).

$$SF_{PUB-BB}(t) = \frac{Dom\_ACR(t)^2}{Dom^2} \cdot Pub(t - 3) \quad (7)$$

Onde:

$SF_{PUB-BB}(t)$  é o subfator da publicidade no “Boca a Boca” (adimensional);

$Dom\_ACR(t)$  é a quantidade de domicílios residenciais no ACR (domicílios);

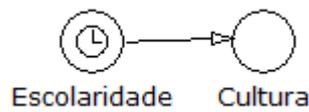
$Dom$  é a quantidade total de domicílios residenciais considerados no modelo (domicílios);

$Pub(t - 3)$  é a intensidade da publicidade com um *delay* de três meses (adimensional).

#### 4.4.3 Cultura e Escolaridade

A Figura 13 apresenta a parte do modelo computacional que define a “Cultura”.

Figura 13 – DEF da Cultura



Fonte: o autor

O nível da “Cultura” dos consumidores está relacionado com o seu nível de escolaridade, sendo modelado a partir do mesmo. O nível de escolaridade é estimado na seção 4.5 como o aumento do percentual do índice de educação em relação ao início do horizonte de estudo. O índice de educação representa o percentual de pessoas acima de 25 anos que possuem o ensino médio completo. A “Cultura” é modelada de acordo com a Equação (8).

$$Cult(t) = \frac{IEO + Esc(t)}{100} \quad (8)$$

Onde:

$Cult(t)$  é a cultura (adimensional);

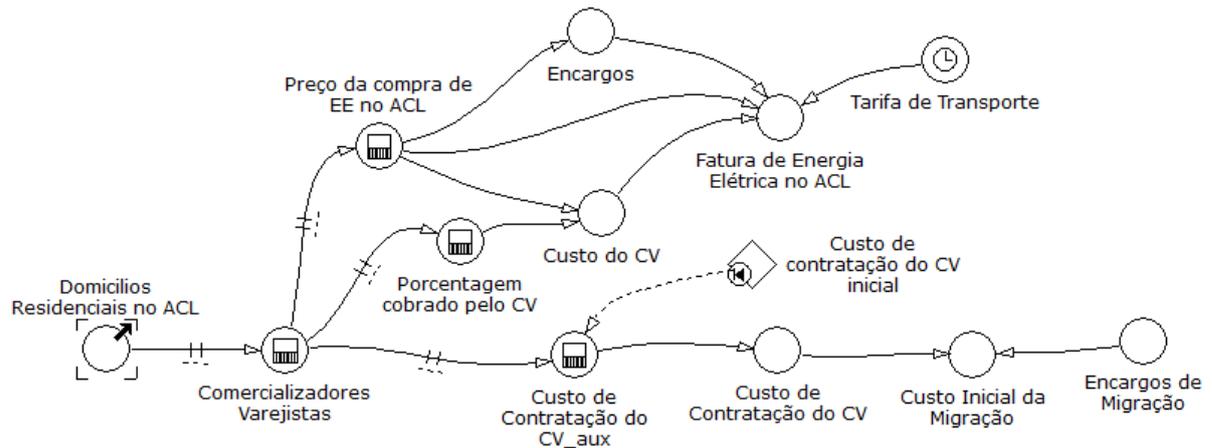
$IEO$  representa o índice de educação percentual estimado para o início do horizonte de estudo (%);

$Esc(t)$  é a escolaridade (%).

#### 4.4.4 Custo Inicial de Migração e da Fatura de Energia Elétrica no ACL

A Figura 14 apresenta a parte do modelo computacional que define a “Fatura de Energia Elétrica no ACL” e o “Custo Inicial da Migração”.

Figura 14 – DEF do Custo Inicial de Migração e da Fatura no ACL



Fonte: o autor

A quantidade de “Comercializadores Varejistas” é modelada a partir da quantidade de “Domicílios Residenciais no ACL” como uma relação linear. Um *delay* de 12 meses é atribuído à variável de “Domicílios Residenciais no ACL” para modelar a demora para o mercado de CVs se ajustar a demanda dos novos domicílios no ACL. A estimativa da quantidade de CVs para o fim de 2023 é de 98 CVs (MEGAWHAT, 2023). De acordo com o Submódulo 1.6 dos Procedimentos de Comercialização, o comercializador varejista necessita para ser habilitado de um limite operacional não inferior a R\$ 1.000.000,00. A partir deste valor, do custo do kWh de energia elétrica em 2023 e do consumo médio de energia elétrica por domicílio, é estimado que um CV terá, em média, uma clientela de 44.690 domicílios no ACL. A Equação (9) representa a modelagem para a quantidade de “Comercializadores Varejistas”.

$$CV(t) = 98 + \frac{Dom\_ACL(t - 12)}{44690} \quad (9)$$

Onde:

$CV(t)$  é a quantidade de empresas comercializadoras varejistas (comercializadoras varejistas);

$Dom\_ACL(t - 12)$  é quantidade de domicílios residenciais no ACL com um *delay* de 12 meses (domicílios).

O “Preço de Compra de Energia Elétrica no ACL” é modelada a partir da quantidade de “Comercializadores Varejistas” como uma relação linear. Um *delay* de seis meses é atribuído à variável de “Comercializadores Varejistas” para modelar o tempo que o mercado demora para ajustar seus preços. Calcula-se um desconto de 38,99% no valor da compra de energia elétrica no ACL em relação ao seu valor no ACR com base nos resultados do estudo da ABRACEEL de 2022 (ABRACEEL/EY, 2022). A partir deste valor de desconto e do preço da energia elétrica no ACR de 0,26420 R\$/kWh (ANEEL, 2023a), calcula-se o valor do “Preço de Compra de Energia Elétrica no ACL” em 2023 como 0,16118 R\$/kWh. A taxa de diminuição do preço de compra da energia elétrica no ACL por comercializador varejista é determinada empiricamente e através de testes no modelo como 15.000 [CV.mês.kWh/R\$]. A Equação (10) apresenta a modelagem matemática do valor do “Preço de Compra de Energia Elétrica no ACL”.

$$PCEEACL(t) = 0,1677133 - \frac{CV(t - 6)}{15000} \quad (10)$$

Onde:

$PCEEACL(t)$  é o preço de compra de energia elétrica no ACL (R\$/(kWh.mês));  
 $CV(t - 6)$  é a quantidade de empresas comercializadoras varejistas com um *delay* de seis meses (comercializadoras varejistas).

A “Porcentagem cobrada pelo CV” é modelada a partir da quantidade de “Comercializadores Varejistas” como uma relação linear. Um *delay* de seis meses é atribuído à variável de “Comercializadores Varejistas” para modelar o tempo que o mercado demora para ajustar seus preços. Considera-se na modelagem que os comercializadores varejistas começarão cobrando aproximadamente 10% do valor do “Preço de Compra de Energia Elétrica no ACL” e que a porcentagem cobrada diminui em uma taxa de 100 CV/%. A “Porcentagem cobrada pelo CV” é modelada a partir da Equação (11).

$$Pcnt\_CV(t) = 11 - \frac{CV(t - 6)}{100} \quad (11)$$

Onde:

$Pcnt\_CV(t)$  é a porcentagem cobrada pelo CV (%);  
 $CV(t - 6)$  é a quantidade de empresas comercializadoras varejistas com um *delay* de seis meses (comercializadoras varejistas).

O “Custo cobrado pelo CV” em R\$/kWh corresponde ao produto da porcentagem cobrada pelo preço da energia elétrica no ACL, conforme representado na Equação (12).

$$C_{CV}(t) = \frac{Pcnt_{CV}(t).PCEEACL(t)}{100} \quad (12)$$

Onde:

$C_{CV}(t)$  é o custo cobrado pelo CV (R\$/(kWh.mês));

$Pcnt_{CV}(t)$  é a porcentagem cobrada pelo CV (%);

$PCEEACL(t)$  é o preço de compra de energia elétrica no ACL (R\$/kWh).

Os “Encargos” são modelados em função do “Preço de Compra de Energia Elétrica no ACL” a partir da média percentual da participação dos encargos na formação da tarifa por função de custo, calculada pelo autor com as informações em (ANEEL, 2023b). A Equação (12) representa a modelagem obtida para a variável “Encargos”.

$$Enc(t) = 0,2028.PCEEACL(t) \quad (13)$$

Onde:

$Enc(t)$  é os encargos cobrados dos domicílios nas faturas (R\$/(kWh.mês));

$PCEEACL(t)$  é o preço de compra de energia elétrica no ACL (R\$/(kWh.mês)).

A “Fatura de Energia no ACL” é modelada como a soma a soma das partes que a integram: o “Preço de Compra de Energia Elétrica no ACL”, a “Tarifa de Transporte”, o “Custo cobrado pelo CV” e os “Encargos”. Sua modelagem é representada pela Equação (14).

$$Fat_{ACL}(t) = PCEEACL(t) + TT + C_{CV}(t) + Enc(t) \quad (14)$$

Onde:

$Fat_{ACL}(t)$  é a fatura de energia elétrica no ACL (R\$/(kWh.mês));

$PCEEACL(t)$  é o preço de compra de energia elétrica no ACL (R\$/(kWh.mês))

$TT$  é a Tarifa de transporte (R\$/(kWh.mês));

$C_{CV}(t)$  é o custo médio cobrado dos domicílios no ACL pelas empresas comercializadoras varejistas (R\$/(kWh.mês));

$Enc(t)$  é os encargos cobrados dos domicílios nas faturas (R\$/(kWh.mês)).

O “Custo de Contratação do CV” é modelado em função da quantidade de “Comercializadores Varejistas” como uma relação linear, uma vez que a maior

competitividade entre os CVs tende a fazê-los diminuir seu custo de contratação. Um *delay* de seis meses é atribuído à variável de “Comercializadores Varejistas” para modelar o tempo que o mercado de CVs demora para ajustar seus custos. O parâmetro “Custo de Contratação do CV inicial” corresponde ao custo de contratação na abertura do ACL, ou seja, em  $t = 0$ . A taxa de decréscimo no custo de contratação do CV é considerada como 0,1 R\$/CV. Um limite inferior de R\$10,00 é atribuído ao “Custo de Contratação do CV”, uma vez que este custo não deve atingir valores mais baixos pois representaria uma desvantagem muito significativa para a arrecadação do CV. As Equações (15) e (16) apresentam a modelagem realizada para o “Custo de Contratação do CV”, com o uso da variável auxiliar  $C\_Contr\_CV_{aux}(t)$ .

$$C\_Contr\_CV_{aux}(t) = C\_Contr\_CVI + 9,8 - 0,1 \cdot CV(t - 6) \quad (15)$$

$$C\_Contr\_CV(t) = \begin{cases} C\_Contr\_CV_{aux}(t), & C\_Contr\_CV_{aux}(t) > 10 \\ 10, & C\_Contr\_CV_{aux}(t) \leq 10 \end{cases} \quad (16)$$

Onde:

$C\_Contr\_CV(t)$  é o custo de contratação do CV (R\$);

$C\_Contr\_CV_{aux}(t)$  é uma variável auxiliar utilizada para o cálculo do custo de contratação do CV (R\$);

$C\_Contr\_CVI$  é o custo de contratação do CV no início do horizonte de estudo (R\$);

$CV(t - 6)$  é a quantidade de empresas comercializadoras varejistas com um *delay* de seis meses (comercializadoras varejistas).

O “Custo Inicial da Migração” é composto pelo “Custo de Contratação do CV” e pelos “Encargos de Migração”, como representado na Equação (17).

$$CIM(t) = C\_Contr\_CV(t) + EM \quad (17)$$

Onde:

$CIM(t)$  é o custo inicial da migração (R\$);

$C\_Contr\_CV(t)$  é o custo de contratação do CV (R\$);

$EM$  são os encargos de migração (R\$).

#### 4.4.5 Fatores Econômicos

A renda do domicílio exerce uma influência significativa para a definição do seu “Tempo de Retorno do Investimento” e “Fator Econômico”. Para considerar esta influência da renda, utiliza-se variáveis específicas para diferentes classes de renda no modelo. As três classes de renda consideradas no modelo são: de três a cinco salários mínimos, de cinco a dez salários mínimos e de mais de dez salários mínimos. Para fazer referência às variáveis específicas de uma classe de renda no modelo e nas equações, é utilizado um número “n” ao final do nome da variável. A relação entre o número “n” no final do nome da variável e a classe de renda pela qual a variável se refere está apresentada no Quadro 2.

Quadro 2 – Relação para nomenclatura das variáveis no modelo e no equacionamento

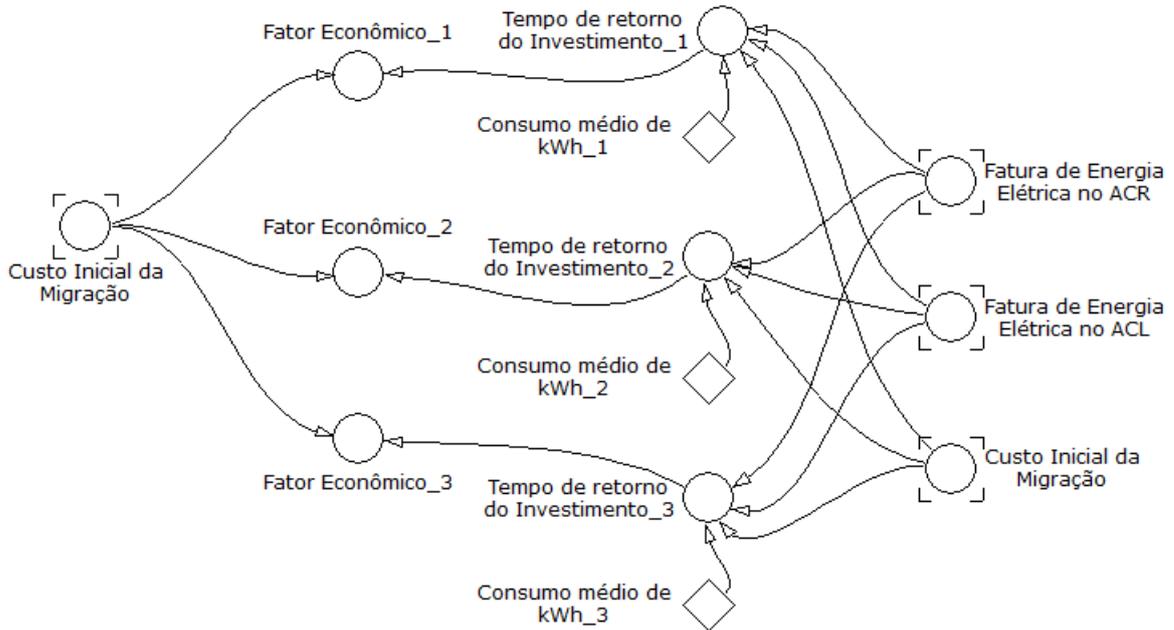
| <b>Valor de "n"</b> | <b>Classe de Renda</b>      |
|---------------------|-----------------------------|
| <b>1</b>            | 3 a 5 salários mínimos      |
| <b>2</b>            | 5 a 10 salários mínimos     |
| <b>3</b>            | mais de 10 salários mínimos |

Fonte: o autor

Ao considerar as classes de renda apresentadas no Quadro 2, desconsidera-se as unidades consumidoras classificadas na Subclasse Residencial de Baixa Renda, a qual são aplicadas a Tarifa Social de Energia Elétrica para famílias com renda inferior a meio salário mínimo (BRASIL, 2010).

A Figura 15 apresenta a parte do modelo computacional que define os “Tempos de Retorno do Investimento” e os “Fatores Econômicos” para as classes de renda consideradas no modelo.

Figura 15 – DEF dos Fatores Econômicos



Fonte: o autor

O “Tempo de Retorno do Investimento” é o tempo necessário para recuperar o valor investido. O valor investido na migração para o ACL corresponde ao “Custo Inicial da Migração”. O retorno sobre o investimento é calculado como a diferença entre as faturas no ACR e no ACL, em R\$/(kWh.mês), multiplicada pelo consumo médio de energia elétrica (kWh). O “Tempo de Retorno do Investimento” portanto é modelado como o “Custo Inicial da Migração” dividido pelo retorno sobre o investimento, conforme apresentado na Equação (18).

Para  $n = 1, 2$  e  $3$ :

$$TRI_n(t) = \frac{CIM(t)}{[Fat\_ACR(t) - Fat\_ACL(t)].Cons\_med\_n} \quad (18)$$

Onde:

$TRI_n(t)$  é o tempo de retorno do investimento médio para os consumidores dos domicílios da classe de renda correspondente a “n” (mês);

$CIM(t)$  é o custo inicial da migração (R\$);

$Fat\_ACR(t)$  é a fatura de energia elétrica no ACR (R\$/(kWh.mês));

$Fat\_ACL(t)$  é a fatura de energia elétrica no ACL (R\$/(kWh.mês));

$Cons\_med\_n$  é o consumo médio de energia elétrica nos domicílios da classe de renda correspondente ao valor de “n” (kWh).

A modelagem para a influência da renda no “Fator Econômico” da decisão dos consumidores pelo ACL é explicada através do conceito da microeconomia chamado

de “preferência temporal”. Conforme tratado por Irvin Fisher em A Teoria do Juro (1984), a preferência temporal corresponde à preferência por bens presentes em oposição a bens futuros, de bens futuros em oposição a bens presentes ou por nenhuma preferência. A Preferência temporal varia com o fluxo de renda total do indivíduo, ou seja, com o montante de sua renda real esperada e com a maneira que ela é distribuída no tempo. A preferência temporal de um indivíduo depende das seguintes características do fluxo de renda: a dimensão, sua distribuição esperada no tempo, sua composição e seu grau de incerteza (FISHER, 1984).

Neste trabalho, considera-se apenas a dimensão do fluxo de renda na modelagem, pois é buscado uma modelagem generalizada dentro de cada classe de renda. Irvin Fisher explica que, quanto menor a renda, maior é a preferência pela renda presente sobre a renda futura, uma vez que a baixa renda aumenta a necessidade da renda imediata ainda mais que a necessidade da renda futura (FISHER, 1984).

A modelagem dos fatores econômicos leva em consideração o efeito da renda na preferência temporal dos consumidores ao considerar que o fator econômico é dependente simultaneamente de um subfator econômico relacionado ao “Custo Inicial da Migração” e de outro subfator econômico relacionado ao “Tempo de Retorno do Investimento”, como apresentado na Equação (19).

Para  $n = 1, 2$  e  $3$ :

$$FE_n(t) = SF_{CIM_n}(t) + SF_{TRL_n}(t) \quad (19)$$

Onde:

$FE_n(t)$  é o fator econômico para os consumidores dos domicílios da classe de renda correspondente ao valor de “ $n$ ” (adimensional);

$SF_{CIM_n}(t)$  é o subfator econômico relacionado ao custo inicial de migração para os consumidores dos domicílios da classe de renda correspondente ao valor de “ $n$ ” (adimensional);

$SF_{TRL_n}(t)$  é o subfator econômico relacionado ao tempo de retorno de investimento para os consumidores dos domicílios da classe de renda correspondente ao valor de “ $n$ ” (adimensional).

As classes de menor renda possuem a preferência temporal de permanecer com seu dinheiro, não investindo o valor do “Custo Inicial da Migração” para migrar para o ACL e, portanto, levam em maior consideração o valor do custo de migração

que o tempo necessário para retornar o investimento. Isto se traduz na modelagem em uma ponderação maior para o subfator do custo de migração que para o subfator do tempo de retorno do investimento. De forma inversa, as classes de maior renda tendem a ter a preferência temporal de investir seu dinheiro para obter renda futura na forma de economia na fatura de energia elétrica, o que se traduz em uma ponderação maior para o subfator relacionado ao tempo de retorno do investimento que para o subfator relacionado ao custo inicial da migração.

O subfator econômico relacionado ao custo inicial de migração é modelado conforme a Equação (20), em que a potência cúbica aplicada ao  $CIM(t)$  foi determinada através de testes no modelo.

Para  $n = 1, 2$  e  $3$ :

$$SF_{CIM\_n}(t) = \frac{k_{CIM\_n}}{1 + CIM(t)^3} \quad (20)$$

Onde:

$SF_{CIM\_n}(t)$  é o subfator econômico relacionado ao custo inicial de migração para os consumidores dos domicílios da classe de renda correspondente ao valor de “n” (adimensional);

$k_{CIM\_n}(t)$  é a variável de ponderação da preferência temporal referente ao custo inicial da migração para os consumidores dos domicílios da classe de renda correspondente ao valor de “n” (R\$<sup>3</sup>);

$CIM(t)$  é o custo inicial da migração (R\$).

O subfator econômico relacionado ao tempo de retorno do investimento é modelado conforme a Equação (21), em que a potência quadrática aplicada ao  $TRI\_n(t)$  foi determinada através de testes no modelo.

Para  $n = 1, 2$  e  $3$ :

$$SF_{TRI\_n}(t) = \frac{k_{TRI\_n}}{1 + TRI\_n(t)^2} \quad (21)$$

Onde:

$SF_{TRI\_n}(t)$  é o subfator econômico relacionado ao tempo de retorno do investimento para os consumidores dos domicílios da classe de renda correspondente ao valor de “n” (adimensional);

$k_{TRI\_n}(t)$  é a variável de ponderação da preferência temporal referente ao tempo de retorno do investimento para os consumidores dos domicílios da classe de renda correspondente ao valor de “n” (mês<sup>2</sup>);

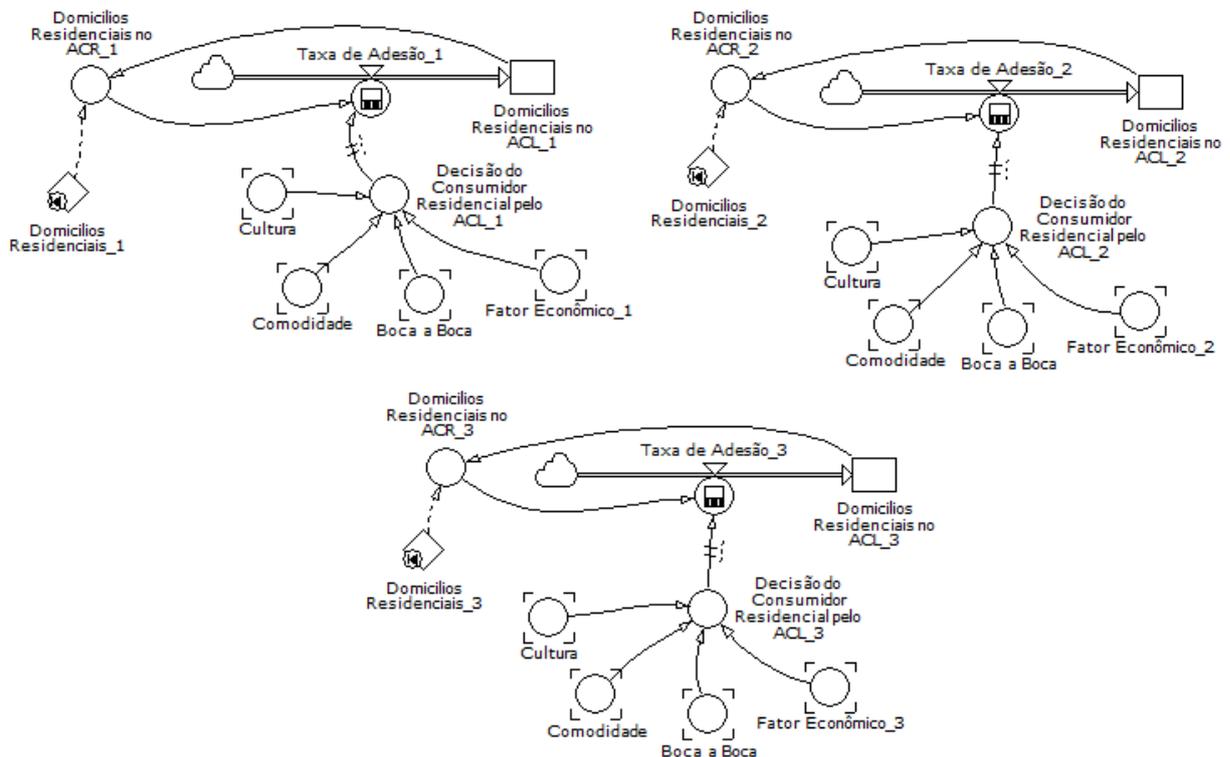
$TRI_n(t)$  é o tempo de retorno do investimento médio para os consumidores dos domicílios da classe de renda correspondente ao valor de "n" (mês).

#### 4.4.6 Decisão do Consumidor Residencial pelo ACL

A Figura 16 apresenta a parte do modelo computacional que define a “Decisão do Consumidor Residencial pelo ACL” e a quantidade de domicílios residenciais no ACL e no ACR por classe de renda.

A “Decisão do Consumidor Residencial pelo ACL” é modelada como o produto do fator econômico pela soma ponderada dos demais fatores que influenciam na decisão pela migração, sendo estes a “Comodidade”, o “Boca a Boca” e a “Cultura”. Utiliza-se uma variável de decisão do consumidor residencial pelo ACL para cada classe de renda pois os fatores econômicos das classes de renda são distintos.

Figura 16 – DEF da Decisão do Consumidor Residencial pelo ACL



Fonte: o autor

A relação entre a “Comodidade” e a “Decisão do Consumidor Residencial pelo ACL” é inversa, portanto, utiliza-se na modelagem o fator  $[1 - Com(t)]$  ao considerar o efeito da comodidade. Os pesos foram determinados empiricamente e através de

testes no modelo. A Equação (22) representa a modelagem matemática para as variáveis de “Decisão do Consumidor Residencial pelo ACL” de cada classe de renda.

Para  $n = 1, 2$  e  $3$ :

$$DC_n(t) = \{0,83. [1 - Com(t)] + 0,15. BB(t) + 0,02. Cult(t)\}. FE_n(t) \quad (22)$$

Onde:

$DC_n(t)$  é a decisão dos consumidores pelo ACL para os consumidores dos domicílios da classe de renda correspondente ao valor de “ $n$ ” (adimensional);

$Com(t)$  é a intensidade da comodidade (adimensional);

$BB(t)$  é a intensidade do “Boca a Boca” entre os consumidores do mercado potencial (adimensional);

$Cult(t)$  é a cultura (adimensional);

$FE_n(t)$  é o fator econômico para os consumidores dos domicílios da classe de renda correspondente ao valor de “ $n$ ” (adimensional).

A “Taxa de Adesão” no ACL é modelada a partir da variável da “Decisão do Consumidor Residencial pelo ACL” e da quantidade de domicílios restantes no ACR. O encerramento antecipado com a distribuidora do CCER implica em cobrança para o consumidor dos meses que faltam para o término do contrato, limitado a 12 meses (ANEEL, 2021). Como o CCER possui vigência típica de 12 meses, isto implica em uma espera de, em média, seis meses para o domicílio poder migrar para o ACL após o consumidor tomar a decisão pela migração. Por este motivo, é aplicado um *delay* de seis meses na variável da “Decisão do Consumidor Residencial pelo ACL”. A Equação (23) representa a modelagem matemática para as variáveis de “Taxa de Adesão” de cada classe de renda.

Para  $n = 1, 2$  e  $3$ :

$$TA_n(t) = Dom\_ACR_n(t). DC_n(t - 6) \quad (23)$$

Onde:

$TA_n(t)$  é a taxa de adesão ao ACL para os domicílios da classe de renda correspondente ao valor de “ $n$ ” (domicílios);

$Dom\_ACR_n(t)$  é a quantidade de domicílios residenciais no ACR da classe de renda correspondente ao valor de “ $n$ ” (domicílios);

$DC_n(t-6)$  é a decisão dos consumidores pelo ACL para os consumidores dos domicílios da classe de renda correspondente ao valor de “n” com um *delay* de seis meses (adimensional).

As variáveis de “Domicílios Residenciais no ACL” de cada classe de renda são representadas pela Equação (24). Elas possuem valor inicial nulo, pois o modelo considera que o início da simulação corresponde à abertura do ACL.

Para  $n = 1, 2$  e  $3$ :

$$Dom\_ACL\_n(t) = \int_0^t TA\_n(t). dt \quad (24)$$

Onde:

$Dom\_ACL\_n(t)$  é a quantidade de domicílios residenciais no ACL da classe de renda correspondente ao valor de “n” (domicílios);

$TA\_n(t)$  é a taxa de adesão ao ACL para os domicílios da classe de renda correspondente ao valor de “n” (domicílios).

As variáveis de “Domicílios Residenciais no ACR” de cada classe de renda são representadas pela Equação (25). Elas possuem valor inicial correspondente à quantidade de domicílios residenciais da respectiva classe de renda, pois todos os domicílios pertencem ao ACR antes da abertura do ACL.

Para  $n = 1, 2$  e  $3$ :

$$Dom\_ACR\_n(t) = Dom\_n - Dom\_ACL\_n(t) \quad (25)$$

Onde:

$Dom\_ACR\_n(t)$  é a quantidade de domicílios residenciais no ACR da classe de renda correspondente ao valor de “n” (domicílios);

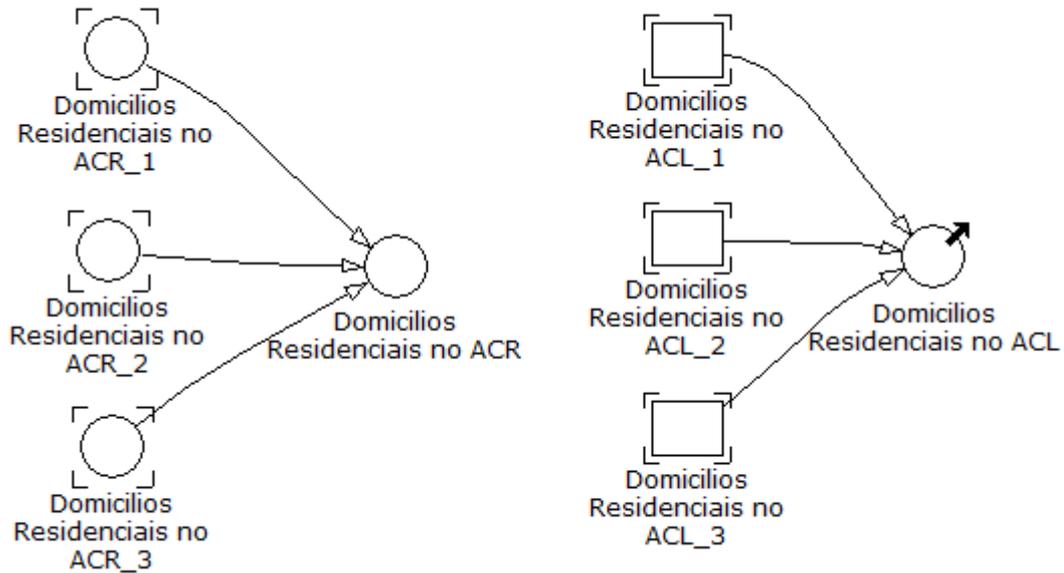
$Dom\_n$  é a quantidade de domicílios residenciais da classe de renda correspondente ao valor de “n” (domicílios);

$Dom\_ACL\_n(t)$  é a quantidade de domicílios residenciais no ACL da classe de renda correspondente ao valor de “n” (domicílios).

#### 4.4.7 Domicílios Residenciais no ACL e no ACR

A Figura 17 apresenta a parte do modelo computacional que define quantidade de domicílios residenciais no ACL e no ACR.

Figura 17 – DEF dos Domicílios Residenciais no ACL e no ACR



Fonte: o autor

A quantidade de “Domicílios Residenciais no ACR” é definida a partir da soma da quantidade de domicílios residenciais no ACR em cada classe de renda considerada no modelo. A quantidade de “Domicílios Residenciais no ACL”, que corresponde à saída do modelo, é definida de forma análoga aos “Domicílios Residenciais no ACR”. As Equações (26) e (27) representam o cálculo dos “Domicílios Residenciais no ACR” e dos “Domicílios Residenciais no ACL” respectivamente.

$$Dom\_ACR(t) = Dom\_ACR\_1(t) + Dom\_ACR\_2(t) + Dom\_ACR\_3(t) \quad (26)$$

Onde:

$Dom\_ACR(t)$  é a quantidade de domicílios residenciais no ACR (domicílios);

$Dom\_ACR\_1(t)$  é a quantidade de domicílios residenciais no ACR pertencentes à classe de renda de três a cinco salários mínimos (domicílios);

$Dom\_ACR\_2(t)$  é a quantidade de domicílios residenciais no ACR pertencentes à classe de renda de cinco a dez salários mínimos (domicílios);

$Dom\_ACR\_3(t)$  é a quantidade de domicílios residenciais no ACR pertencentes à classe de renda de mais de dez salários mínimos (domicílios).

$$Dom\_ACL(t) = Dom\_ACL\_1(t) + Dom\_ACL\_2(t) + Dom\_ACL\_3(t) \quad (27)$$

Onde:

$Dom\_ACL(t)$  é a quantidade de domicílios residenciais no ACL (domicílios);

$Dom\_ACL\_1(t)$  é a quantidade de domicílios residenciais no ACL pertencentes à classe de renda de três a cinco salários mínimos (domicílios);

$Dom\_ACL\_2(t)$  é a quantidade de domicílios residenciais no ACL pertencentes à classe de renda de cinco a dez salários mínimos (domicílios);

$Dom\_ACL\_3(t)$  é a quantidade de domicílios residenciais no ACL pertencentes à classe de renda de mais de dez salários mínimos (domicílios).

#### 4.5 ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS

A estimação de parâmetros consiste na determinação de valores para as variáveis de entrada do modelo computacional. Esta estimação deve ocorrer através de fontes confiáveis sempre que possível ou por hipótese através da observação do problema estudado. Os valores obtidos são apresentados a seguir, assim como o método para sua obtenção.

- **Escolaridade e Índice de Educação:** o índice de educação representa o percentual de pessoas acima de 25 anos que possuem o ensino médio completo segundo os dados do IBGE. O índice de educação passou de 45% em 2016 para 47,4% em 2018 e para 48,8% em 2019 (IBGE, 2020). A partir destes dados, calcula-se um aumento médio no índice de educação de 1,2666 %/ano, ou 0,1055 %/mês. O nível de escolaridade é definido em relação ao início do horizonte de estudo e estimado a partir do aumento do índice de educação em relação ao início do horizonte de estudo, sendo representado pela Equação (28).

$$Esc(t) = 0,1055 \cdot t \quad (28)$$

Onde:

$Esc(t)$  é a escolaridade (%);

$t$  é o tempo desde o início da abertura do mercado (meses).

O Parâmetro IE0 corresponde ao índice de educação estimado para o início do horizonte de estudo, no fim de dezembro de 2023, sendo estimado a partir dos dados de índice de educação para 2019 (48,8%) e da taxa de aumento médio calculado (0,1055 %/mês), obtendo-se o valor de  $IE0 = 53,86\%$ .

- **Tarifa de Transporte:** Como o valor cobrado de TUSD é diferente entre as distribuidoras de energia, o valor médio da mesma e da TUST para todo o Brasil é utilizado. A estimativa para a tarifa de transporte média para o fim de 2023 é obtida através do valor médio atual da TT de 0,2834 R\$/kWh (ANEEL, 2023a). Considera-se que a revisão tarifária ocorre a cada cinco anos, aumentando o valor da TT em 10% de seu valor. A TT é estimada dentro do horizonte de estudo de acordo com a Equação (29), onde  $u(t)$  é a função degrau unitária.

$$TT = 0,2834 + 0,02834 \cdot u(t - 60) + 0,031174 \cdot u(t - 120) + 0,0342914 \cdot u(t - 180) + 0,03772054 \cdot u(t - 240) \quad (29)$$

Onde:

$TT$  é a Tarifa de Transporte (R\$/(kWh.mês)).

- **Fatura de Energia Elétrica no ACR:** Como o valor da fatura de energia elétrica no ACR é diferente entre as distribuidoras de energia, o valor médio da mesma para todo o Brasil é utilizado. A estimativa para o valor da fatura de energia elétrica média para o fim de 2023 é obtida através do valor da atual dela de 0,72605 R\$/kWh (ANEEL, 2023a). Considera-se os mesmos adicionais que ocorrem na TT devido aos reajustes tarifários. A “Fatura de Energia Elétrica no ACR” é estimada dentro do horizonte de estudo de acordo com a Equação (30), onde  $u(t)$  é a função degrau unitária.

$$Fat\_ACR(t) = 0,72605 + 0,02834 \cdot u(t - 60) + 0,031174 \cdot u(t - 120) + 0,0342914 \cdot u(t - 180) + 0,03772054 \cdot u(t - 240) \quad (30)$$

Onde:

$Fat\_ACR(t)$  é a fatura de energia elétrica no ACR (R\$/(kWh.mês)).

- **Domicílios Residenciais:** De acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023, realizado pela EPE (2023a), a quantidade estimada de consumidores residenciais no Brasil para o ano de 2022 é de 78.939.056 consumidores, onde pode-se considerar que este é o número estimado de domicílios pelo contexto. Considera-se, entretanto, apenas os domicílios com renda maior ou igual a três salários mínimos no modelo. Em 2019, apenas 42,1% dos domicílios com eletricidade

possuíam renda maior ou igual a três salários mínimos (EPE, 2023b). A partir destes dados, estima-se que haja 33.233.343 domicílios residenciais com renda mínima de três salários mínimos.

- **Domicílios Residenciais por Classe de Renda:** A EPE (2023b) fornece a informação das porcentagens de domicílios com eletricidade pertencentes a diferentes classes de renda no ano de 2019. As quantidades de domicílios residenciais dentro de cada classe de renda podem ser estimadas a partir destas porcentagens e da quantidade total de domicílios informada acima. O Quadro 3 apresenta as variáveis de domicílios residenciais por classe de renda, a classe correspondente, suas respectivas porcentagens disponibilizadas pela EPE (2023b) e a quantidade de domicílios estimada.

Quadro 3 – Estimativa para os Domicílios Residenciais por Classe de Renda

| Variável     | Classe de renda             | Porcentagem de domicílios com eletricidade (%) | Quantidade estimada de domicílios com eletricidade |
|--------------|-----------------------------|--|--|
| <i>Dom_1</i> | 3 a 5 salários mínimos      | 20,4   | 16.103.567   |
| <i>Dom_2</i> | 5 a 10 salários mínimos     | 14,9   | 11.761.919   |
| <i>Dom_3</i> | mais de 10 salários mínimos | 6,8  | 5.367.856  |

Fonte: o autor, com base em (EPE, 2023b)

- **Consumo Médio de Energia Elétrica por Classe de Renda:** os valores dos consumos médios anuais por classe de renda, em kWh/ano, são disponibilizados pela EPE (2023b). Os consumos médios mensais, utilizados no modelo, são estimados ao dividir o valor dos respectivos consumos médios anuais por 12, referente aos 12 meses do ano. O Quadro 4 apresenta as variáveis de consumo médio por classe de renda, a classe correspondente, seus respectivos valores em kWh/ano disponibilizadas pela EPE (2023b) e estes valores convertidos para kWh/mês.

Quadro 4 – Estimativa para o Consumo médio mensal de kWh por Classe de Renda

| Variável          | Classe de renda             | Consumo médio anual de energia elétrica (kWh/ano) | Consumo médio mensal de energia elétrica (kWh/mês) |
|-------------------|-----------------------------|---|--|
| <i>Cons_med_1</i> | 3 a 5 salários mínimos      | 689   | 57,41  |
| <i>Cons_med_2</i> | 5 a 10 salários mínimos     | 965   | 80,42  |
| <i>Cons_med_3</i> | mais de 10 salários mínimos | 1748  | 145,67   |

Fonte: o autor, com base em (EPE, 2023b)

- **Variáveis de ponderação da preferência temporal:** as variáveis de ponderação da preferência temporal, referentes ao custo inicial da migração e ao tempo de retorno do investimento, são estimadas por hipótese e validadas através de testes no modelo observando as respostas individuais da migração de cada classe de renda individualmente. O Quadro 5 apresenta as variáveis de ponderação da preferência temporal e os valores adotados para as mesmas.

Quadro 5 – Estimativa das variáveis de ponderação da preferência temporal

| Variável                          | Classe de renda             | Referente ao                     | Valor |
|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------|
| <i>kcim_1</i> (R\$ <sup>3</sup> ) | 3 a 5 salários mínimos      | Custo Inicial de Migração        | 0,9   |
| <i>ktri_1</i> (mês <sup>2</sup> ) |                             | Tempo de Retorno do Investimento | 0,1   |
| <i>kcim_2</i> (R\$ <sup>3</sup> ) | 5 a 10 salários mínimos     | Custo Inicial de Migração        | 0,7   |
| <i>ktri_2</i> (mês <sup>2</sup> ) |                             | Tempo de Retorno do Investimento | 0,3   |
| <i>kcim_3</i> (R\$ <sup>3</sup> ) | mais de 10 salários mínimos | Custo Inicial de Migração        | 0,3   |
| <i>ktri_3</i> (mês <sup>2</sup> ) |                             | Tempo de Retorno do Investimento | 0,7   |

Fonte: o autor

- **Marketing:** o “Marketing” é uma política necessária para promover a publicidade e fazer com que os consumidores residenciais tomem

conhecimento da oportunidade de migração para o ACL. Por outro lado, o “*Marketing*” e a publicidade devem envolver custos financeiros consideráveis para quem está promovendo o ACL. Por hipótese, adota-se um valor base de 0,5 para o “*Marketing*” devido aos fatores mencionados.

- **Encargos de Migração:** há discussões sobre a implementação de encargos de migração para os consumidores residenciais, como consta no “Relatório de Contribuições à Consulta Pública nº 137/2022” publicado pelo MME (2022), todavia isto ainda não está definido. A expectativa é de que estes encargos venham a existir, porém que o valor deles seja baixo. Por hipótese, adota-se como base um valor de “Encargos de Migração” de R\$ 0, que condiz com a possibilidade de não existirem encargos cobrados para realizar a migração e está bastante próximo da possibilidade de estes encargos existirem com valor bem baixo por domicílio.
- **Custo de Contratação do CV inicial:** este parâmetro corresponde ao custo que o CV cobrará para sua contratação no momento de abertura do ACL para os consumidores residenciais. A expectativa é de que o custo de contratação por domicílio não será muito alto, caso contrário inibiria a migração. Por hipótese, o valor base para o “Custo de Contratação do CV inicial” é estimado como R\$ 50,00.

## 5 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados com uso do modelo computacional desenvolvido para a análise do número de domicílios que podem migrar para o mercado livre. Ainda, apresenta a análise de sensibilidade e o teste de políticas.

### 5.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade, como abordado na seção 3.2, identifica as variáveis com o impacto mais significativo no resultado final do sistema, ou seja, nos “Domicílios residenciais no ACL”.

Os parâmetros de cenário são: o *marketing*, o custo de contratação do CV e os encargos de migração. O cenário Base corresponde ao cenário em que os parâmetros de cenário estão em seus valores base. Este é o cenário pela qual os valores dos parâmetros de cenário são variados na análise de sensibilidade e nos testes de políticas. Os valores dos parâmetros na simulação do cenário Base e o horizonte de estudo da simulação estão resumidos no Quadro 6.

Quadro 6 – Valores dos parâmetros de cenário no cenário Base

|  |
|--|
| Horizonte de estudo: dezembro de 2023 a dezembro de 2045 |
| <i>Marketing</i> : 50%                                   |
| Custo de contratação do CV inicial: R\$ 50,00            |
| Encargos de migração: R\$ 0,00                           |

Fonte: o autor

O Quadro 7 apresenta os parâmetros utilizados na análise de sensibilidade, assim como os valores utilizados nas variações dos parâmetros e o resultado da quantidade de domicílios residenciais no ACL em dezembro de 2033 (dez anos após o início do horizonte de estudo) e em dezembro de 2045 (fim do horizonte de estudo). As simulações do cenário Base estão em negrito para melhor identificação.

Conforme pode ser visualizado no Quadro 7, o aumento do valor do “*Marketing*” resulta em um aumento na quantidade de domicílios que migraram para o ACL em ambas as datas verificadas. De maneira inversa, a diminuição do “*Marketing*” implica em uma diminuição na migração dos domicílios residenciais para o ACL nas duas datas. A variação que a saída do sistema apresentou com a variação do “*Marketing*”

é explicada pois o valor adotado para o *marketing* afeta a intensidade da publicidade realizada a respeito da possibilidade e as vantagens da migração do consumidor residencial para o ACL. A publicidade é o principal fator que fará com que os consumidores tenham conhecimento sobre a possibilidade de migração e deve proporcionar maior boca a boca entre os consumidores e, principalmente, diminuir a comodidade em que eles se encontram ao se manter no ACR. Como consequência final, a publicidade promoverá maior decisão dos consumidores pela migração, que resultará em uma maior quantidade de domicílios no ACL.

Quadro 7 – Análise de sensibilidade do sistema

| Parâmetro                                 | Valor            | Domicílios Residenciais no ACL (em dezembro de 2033) | Domicílios Residenciais no ACL (em dezembro de 2045) |
|---|------------------|--|--|
| <b>Marketing</b>                          | 40%              | 19.568.433   | 27.742.055   |
|   | <b>50%</b>       | <b>20.795.548</b>                                    | <b>28.121.554</b>                                    |
|   | 60%              | 21.744.784   | 28.415.301   |
| <b>Custo de contratação do CV inicial</b> | R\$ 47,50        | 21.829.062   | 28.432.496   |
|   | <b>R\$ 50,00</b> | <b>20.795.548</b>                                    | <b>28.121.554</b>                                    |
|   | R\$ 52,50        | 19.597.556   | 27.729.079   |
| <b>Encargos de migração</b>               | <b>R\$ 0,00</b>  | <b>20.795.548</b>                                    | <b>28.121.554</b>                                    |
|   | R\$ 2,50         | 19.597.556   | 27.176.521   |
|   | R\$ 5,00         | 18.504.433   | 26.181.795   |

Fonte: o autor

A partir do Quadro 7, conclui-se que os aumentos no “Custo de contratação do CV inicial” e nos “Encargos de migração” resultam ambos em uma menor quantidade de domicílios que migram para o ACL nas duas datas verificadas. De forma inversa, ao diminuir os valores de “Custo de contratação do CV inicial” e dos “Encargos de migração”, observa-se que a quantidade de domicílios residenciais que migram para o ACL aumenta em ambas as datas verificadas. Essas variações são justificadas, uma vez que os parâmetros “Custo de contratação do CV” e “Encargos de migração” são as duas parcelas do “Custo inicial da migração”. O aumento do “Custo inicial da migração” e o consequente aumento do “Tempo de retorno do investimento” causam uma menor vantagem econômica na migração para o ACL, que por sua vez causam uma menor quantidade de “Domicílios residenciais no ACL”.

O “Custo de contratação do CV” possui o valor do “Custo de contratação do CV inicial” no início do horizonte de estudo e diminui com o tempo por causa do aumento

da competitividade entre as empresas comercializadoras varejistas. Os “Encargos de migração”, por sua vez, mantêm seu valor constante durante todo o horizonte de estudo. A distinção entre o comportamento das variáveis durante o horizonte de estudo explica as diferenças entre os valores de “Domicílios residenciais no ACL” causada pela mesma variação, aumento de R\$ 2,50, nos dois parâmetros no fim do horizonte de estudo.

A partir dos resultados presentes no Quadro 7 e das constatações realizadas, conclui-se que a interação dos parâmetros analisados com a variável de saída (Domicílios Residenciais no ACL) ocorre como previsto, atestando a robustez do modelo.

## 5.2 TESTE DE POLÍTICAS

Nesta seção, são testadas as políticas com objetivo de avaliar o impacto na migração para o ACL a partir da simulação do modelo. Esta etapa possibilita testar hipóteses sobre o efeito das decisões governamentais, da ANEEL e das empresas comercializadoras varejistas na migração dos consumidores residenciais para o ACL.

### 5.2.1 Políticas de Publicidade

A publicidade gerada pelas campanhas de *marketing* é uma política que deve ser implementada com maior intensidade pela ANEEL para conscientizar o consumidor da possibilidade e das vantagens de migrar para o ACL. As empresas comercializadoras varejistas também devem realizar campanhas de *marketing* para promover o ACL e aumentar a quantidade de seus clientes.

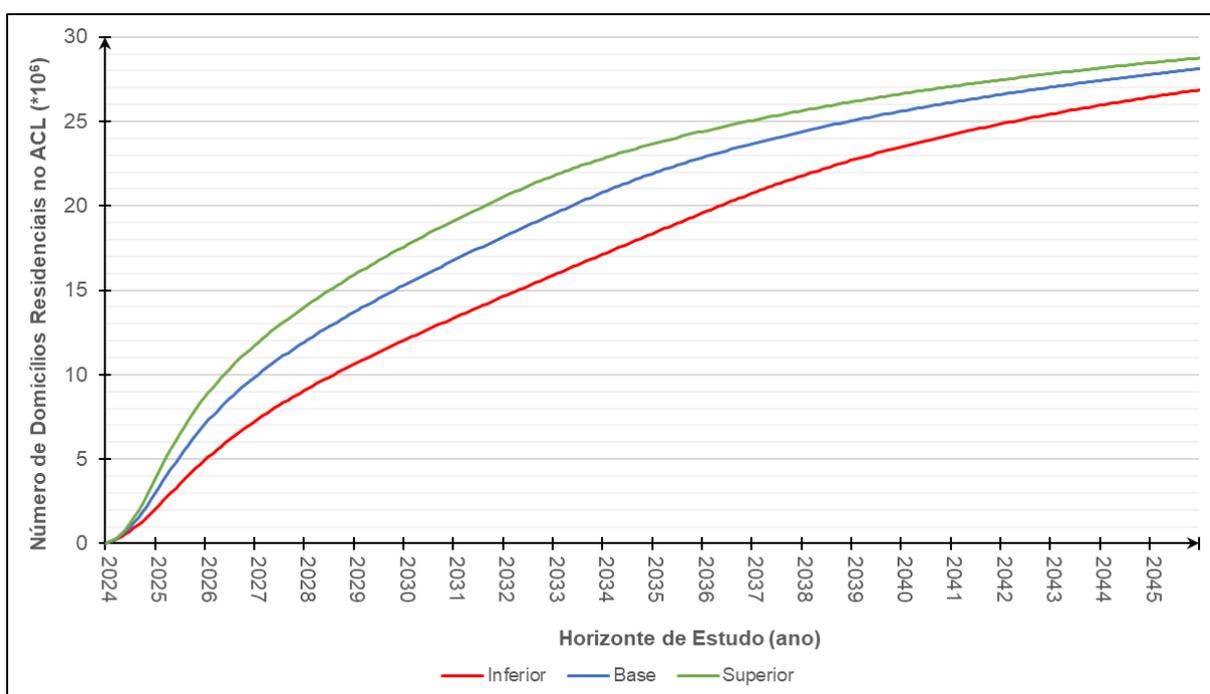
Para testar os efeitos das campanhas de *marketing* na migração dos consumidores residenciais para o ACL, são construídos três cenários: o Inferior, o Base e o Superior. Em cada um dos cenários, é atribuído um valor diferente para o parâmetro constante “*Marketing*” no modelo. Os demais parâmetros de cenário mantiveram seus valores base, mostrados no Quadro 6. O Quadro 8 mostra os valores usados para os parâmetros de cenário no teste das políticas de publicidade. Os resultados da simulação estão apresentados na Figura 18, onde os cenários Inferior, Base e Superior estão plotados nas cores vermelho, azul e verde respectivamente.

Quadro 8 – Valores dos Parâmetros de Cenário para o Teste do “Marketing”

| Cenário  | Marketing | Custo de contratação do CV inicial | Encargos de Migração |
|----------|-----------|------------------------------------|----------------------|
| Superior | 75%       | R\$ 50,00                          | R\$ 0,00             |
| Base     | 50%       | R\$ 50,00                          | R\$ 0,00             |
| Inferior | 25%       | R\$ 50,00                          | R\$ 0,00             |

Fonte: o autor

Figura 18 – Resultado do teste de política do “Marketing”



Fonte: o autor

Como pode ser visualizado na Figura 18, o cenário Superior apresenta a migração mais elevada que os demais. O cenário Inferior, por sua vez, apresentou uma migração menor que os outros cenários. Isto ocorre porque os cenários com maior valor de “Marketing” possuem maior intensidade de Publicidade, principalmente nos primeiros anos após a abertura do mercado, o que causa maior conhecimento sobre a migração por parte dos consumidores e, conseqüentemente, maior taxa de migração para o ACL. Conclui-se que a maior diferença na taxa de migração entre os cenários ocorre nos primeiros três anos após o início da migração, quando a publicidade deve ser mais intensa devido as campanhas de *marketing*.

## 5.2.2 Políticas de Precificação dos Encargos de Migração

A abertura do mercado livre para os consumidores residenciais é um assunto que ainda se encontra em discussão por agentes de todos os segmentos do setor elétrico brasileiro. Um exemplo desta discussão é o Relatório da Consulta Pública nº 137/2022, onde foram reunidas contribuições de cinquenta e três agentes do setor elétrico sobre a discussão da abertura do mercado de energia para consumidores conectados em BT. Entre os tópicos discutidos nesta Consulta Pública, destaca-se a possibilidade de criação de encargos de migração, que afeta diretamente no custo inicial que o consumidor teria que arcar para realizar a migração (MME, 2022).

Tendo em vista esta possibilidade, são criados três cenários para simulação com o modelo desenvolvido: o Base, o Superior e o Inferior. Avalia-se o impacto que os encargos de migração podem ter na migração dos consumidores residenciais ao ACL a partir da simulação destes cenários. O Quadro 9 mostra os valores usados para o parâmetro “Encargos de Migração” em cada cenário criado. Os demais parâmetros mantiveram seus valores base, mostrados no Quadro 6. Os resultados da simulação estão apresentados na Figura 19, onde os cenários Inferior, Base e Superior estão plotados nas cores vermelho, azul e verde respectivamente.

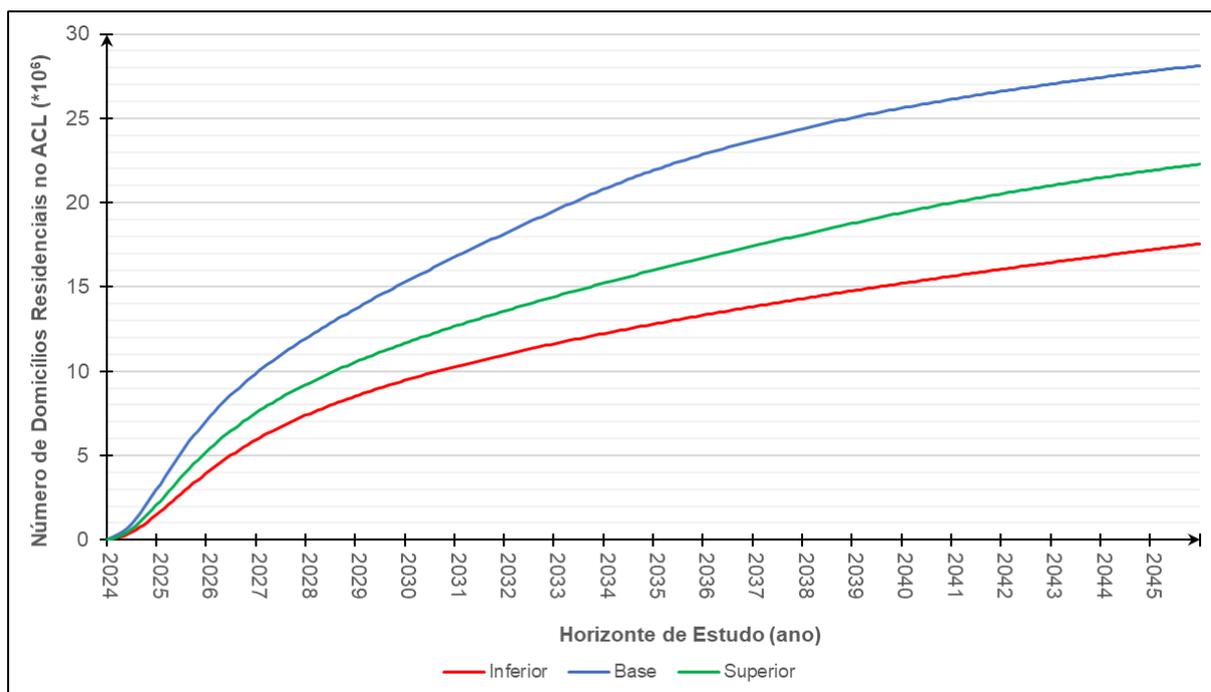
Quadro 9 – Valores dos Parâmetros de Cenário para o Teste de “Encargos de Migração”

| <b>Cenário</b>  | <b>Marketing</b> | <b>Custo de contratação do CV inicial</b> | <b>Encargos de Migração</b> |
|-----------------|------------------|---|-----------------------------|
| <b>Superior</b> | 50%              | R\$ 50,00                                 | R\$ 15,00                   |
| <b>Base</b>     | 50%              | R\$ 50,00                                 | R\$ 0,00                    |
| <b>Inferior</b> | 50%              | R\$ 50,00                                 | R\$ 30,00                   |

Fonte: o autor

A partir da Figura 19, conclui-se que o cenário Base, que não possui cobrança de encargos de migração, apresentou a maior migração como esperado. O cenário Superior apresentou uma diminuição significativa na migração em relação ao cenário Base, com uma diminuição no número de domicílios residenciais no ACL no fim do horizonte de estudo de aproximadamente 20,75% em relação ao cenário Base. O cenário Inferior apresentou uma queda na migração ainda maior, com uma diminuição no número de domicílios residenciais no ACL no fim do horizonte de estudo de aproximadamente 37,51% em relação ao cenário Base.

Figura 19 – Resultado do teste de política de “Encargos de Migração”



Fonte: o autor

Este comportamento é esperado, uma vez que os encargos de migração causam um aumento permanente no custo inicial da migração. Um custo maior para migrar resulta em uma inibição desta migração, uma vez que os consumidores tendem a evitar realizar o investimento necessário quando o custo de entrada é mais alto, sobretudo os consumidores pertencentes a classes de renda mais baixas.

### 5.2.3 Políticas de Precificação da Contratação do CV

Ao estabelecer que os consumidores residenciais devem ser representados por empresas comercializadoras varejistas, o custo de contratação desta empresa passa a ser considerado parte integrante do custo inicial da migração. Espera-se que o custo de contratação dos CVs comece em um determinado valor mais elevado e baixe ao longo do tempo devido ao aumento da competitividade entre as empresas de comercialização varejista. O parâmetro “Custo de contratação do CV inicial” corresponde ao valor que as CVs irão cobrar do domicílio no momento da abertura do mercado, ou seja, no início do horizonte de estudo. A determinação do valor deste parâmetro pelas CVs deve causar um maior ou menor sucesso na migração dos domicílios residenciais.

Para testar o efeito do valor inicial do custo de contratação das CVs na migração dos consumidores residenciais para o ACL, são criados três cenários de

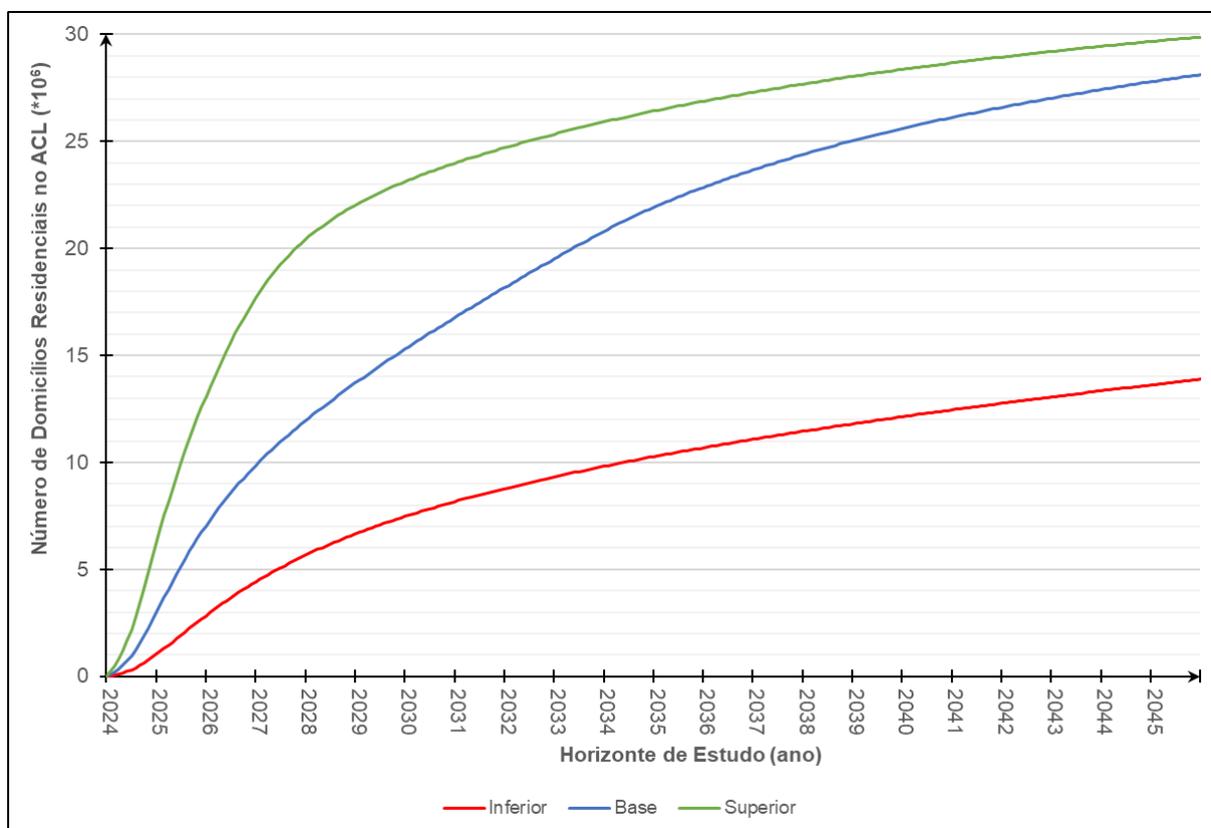
realidade possível: o Inferior, o Base e o Superior. Em cada um dos cenários, é atribuído um valor diferente para o parâmetro constante “Custo de contratação do CV inicial”. O Quadro 10 mostra os valores usados para este parâmetro em cada cenário criado. Os demais parâmetros mantiveram seus valores base, mostrados no Quadro 6. Os resultados da simulação estão apresentados na Figura 20, onde os cenários Inferior, Base e Superior estão plotados nas cores vermelho, azul e verde respectivamente.

Quadro 10 – Valores dos Parâmetros de Cenário para o Teste do “Custo de contratação do CV inicial”

| <b>Cenário</b>  | <b>Marketing</b> | <b>Custo de contratação do CV inicial</b> | <b>Encargos de Migração</b> |
|-----------------|------------------|---|-----------------------------|
| <b>Superior</b> | 50%              | R\$ 25,00                                 | R\$ 0,00                    |
| <b>Base</b>     | 50%              | R\$ 50,00                                 | R\$ 0,00                    |
| <b>Inferior</b> | 50%              | R\$ 100,00                                | R\$ 0,00                    |

Fonte: o autor

Figura 20 – Resultado do teste de política do “Custo de contratação do CV inicial”



Fonte: o autor

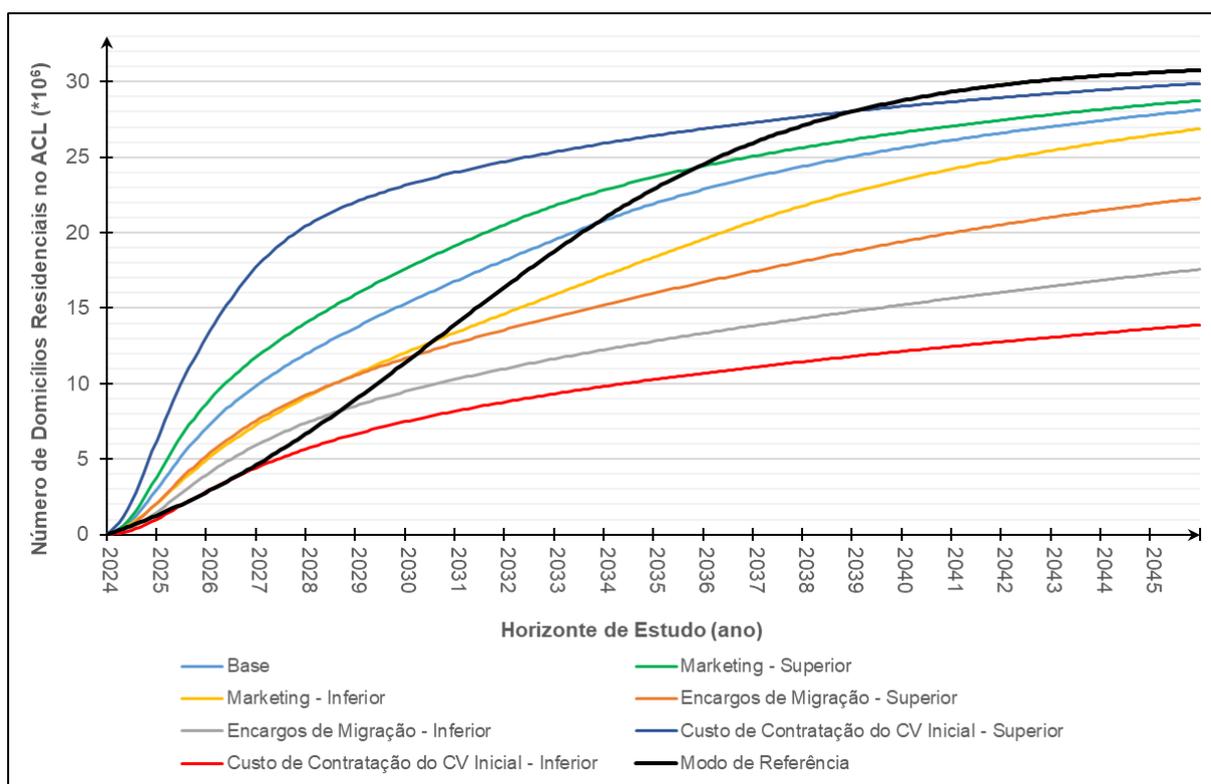
Como pode ser visualizado na Figura 20, a migração no cenário Superior ocorre de forma mais acelerada em relação ao cenário Base, com uma taxa de adesão mais elevada nos primeiros quatro anos. Após os quatro anos iniciais, o número de domicílios residenciais no ACL se aproxima nos cenários Superior e Base, sendo que o valor no cenário Superior é apenas 6,25% maior que no cenário Base no fim do horizonte de estudo. Este resultado é justificado pois deve ocorrer uma migração mais intensa se o custo de migração for menor, especialmente dos domicílios pertencentes à classe de renda entre três e cinco salários mínimos, que constitui 48,5% dos domicílios considerados na simulação.

A partir da Figura 20, conclui-se que o cenário Inferior constitui um resultado pouco promissor no quesito da migração dos consumidores residenciais para o ACL, uma vez que a migração é bem menos intensa durante todo o horizonte de estudo em relação aos demais cenários. No fim do período de análise, o número de domicílios residenciais no ACL no cenário Inferior representa uma diminuição de aproximadamente 50,63% em relação ao cenário Base. Estes resultados são justificados porque um alto custo inicial de contratação do CV deve inibir significativamente a migração dos domicílios residenciais pertencentes à classe de renda entre três e cinco salários mínimos. Esta redução na migração deve ocorrer de forma menos intensa, mas ainda significativa, para os domicílios pertencentes à classe de renda entre cinco e dez salários mínimos.

### 5.3 VALIDAÇÃO DO MODELO

A Figura 21 apresenta a comparação entre todos os cenários para os testes de políticas juntamente com o Modo de Referência (em preto). Nesta Figura, todos os gráficos de resultados dos testes de políticas condizem com o comportamento esperado pelo Modo de Referência, validando assim o modelo desenvolvido.

Figura 21 – Comparação entre os Cenários e o Modo de Referência



Fonte: o autor

## 5.4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Esta seção apresenta a análise dos resultados do modelo para os cenários construídos. O Quadro 11 sintetiza os resultados de número de domicílios residenciais no ACL obtidos para dezembro de 2033 e dezembro de 2045.

Analisando-se os resultados do Quadro 11, nota-se que o cenário com menor valor para o custo de contratação do CV (Custo de Contratação do CV inicial – Superior) obteve o melhor resultado em ambas as datas analisadas. O cenário com o maior *marketing* (*Marketing* – Superior) obteve o segundo maior resultado para ambas as datas analisadas. Assim, estas variáveis são relevantes para a alavancagem da migração.

Conforme dito, os domicílios considerados para a migração são aqueles com renda igual ou superior a três salários mínimos, ou seja, 33.233.343 domicílios. Assim, os percentuais analisados a seguir referem-se a estes domicílios.

O cenário “Base” corresponde a uma situação intermediária, em que os parâmetros de cenário possuem valores que favorecem moderadamente a migração. De acordo com a resposta do modelo, aproximadamente 62,6% dos domicílios

considerados migram ao ACL até dezembro de 2033 e 84,6% até o fim do horizonte de estudo, ou seja, dezembro de 2045.

Quadro 11 – Síntese dos Cenários

| <b>Cenário</b>                                       | <b>Marketing</b> | <b>Custo de contratação do CV inicial</b> | <b>Encargos de migração</b> | <b>Domicílios Residenciais no ACL / % (em dezembro de 2033)</b> | <b>Domicílios Residenciais no ACL / % (em dezembro de 2045)</b> |
|--|------------------|---|-----------------------------|---|---|
| <b>Base</b>  | 50%              | R\$ 50,00                                 | R\$ 0,00                    | 20.795.548 / 62,6%  | 28.121.554 / 84,6%  |
| <b>Marketing - Superior</b>                          | 75%              | R\$ 50,00                                 | R\$ 0,00                    | 22.806.028 / 68,6%  | 28.756.274 / 86,5%  |
| <b>Marketing - Inferior</b>                          | 25%              | R\$ 50,00                                 | R\$ 0,00                    | 17.126.477 / 51,5%  | 26.873.804 / 80,9%  |
| <b>Encargos de Migração - Superior</b>               | 50%              | R\$ 50,00                                 | R\$ 15,00                   | 15.222.656 / 45,8%  | 22.286.565 / 67,1%  |
| <b>Encargos de Migração - Inferior</b>               | 50%              | R\$ 50,00                                 | R\$ 30,00                   | 12.236.236 / 36,8%  | 17.571.647 / 52,9%  |
| <b>Custo de Contratação do CV inicial - Superior</b> | 50%              | R\$ 25,00                                 | R\$ 0,00                    | 25.908.324 / 78%  | 29.878.417 / 89,9%  |
| <b>Custo de Contratação do CV inicial - Inferior</b> | 50%              | R\$ 100,00                                | R\$ 0,00                    | 9.813.518 / 29,5%   | 13.884.866 / 41,8%  |

Fonte: O autor

No cenário “*Marketing - Superior*”, aproximadamente 68,6% dos domicílios considerados migram ao ACL até dezembro de 2033 e 86,5% até o fim do horizonte de estudo. No cenário “*Marketing - Inferior*”, aproximadamente 51,5% dos domicílios considerados migram ao ACL até dezembro de 2033 e 80,9% até o fim do horizonte de estudo. Observa-se que o *marketing* possui maior impacto na migração ao ACL nos anos iniciais da migração, quando a publicidade é mais intensa.

No cenário “Encargos de Migração - Superior”, aproximadamente 45,8% dos domicílios considerados migram ao ACL até dezembro de 2033 e 67,1% até o fim do horizonte de estudo. No cenário “Encargos de Migração - Inferior”, aproximadamente 36,8% dos domicílios considerados migram ao ACL até dezembro de 2033 e 52,9% até o fim do horizonte de estudo. Nota-se que a cobrança de encargos de migração reduz a migração.

No cenário “Custo de Contratação do CV inicial - Superior”, aproximadamente 78% dos domicílios considerados migram ao ACL até dezembro de 2033 e 89,9% até o fim do horizonte de estudo. No cenário “Custo de Contratação do CV inicial - Inferior”, aproximadamente 29,5% dos domicílios considerados migram ao ACL até dezembro de 2033 e 41,8% até o fim do horizonte de estudo. Assim, conclui-se que o custo cobrado pelo CV para a sua contratação no período inicial do horizonte de estudo alavanca a migração se seu valor for baixo (abaixo de R\$ 40,00), porém reduz significativamente a migração se seu valor for alto (acima de R\$ 60,00), pois um número menor de consumidores residenciais investe na migração.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta as considerações finais e a conclusão do presente trabalho, e sugere trabalhos futuros.

O trabalho identifica os principais fatores que influenciam na migração dos consumidores residenciais para o mercado livre; apresenta a situação atual do mercado de energia elétrica brasileiro, em específico referente aos consumidores residenciais e a regulamentação vigente para os mesmos; descreve a regulamentação vigente e tendência para o papel do comercializador varejista no mercado livre brasileiro considerando o contexto atual e apresenta exemplos de países em que os consumidores residenciais estão aptos a aderir ao mercado livre, mostrando o papel que o comercializador varejista desempenha na transição do mercado cativo para o mercado livre.

A técnica de DS é adequada para a modelagem da migração dos consumidores residenciais para o ACL, uma vez que possibilita a consideração simultânea de fatores técnicos, econômicos e comportamentais dos agentes. O modelo desenvolvido contempla diversas melhorias em relação ao modelo apresentado por Alles (2018), como a inclusão do comercializador varejista, dos efeitos da propaganda do boca a boca e da preferência temporal na decisão de migração.

Os resultados do modelo revelam que o *marketing* e a publicidade possuem um papel essencial para tornar conhecida a possibilidade de migração para o ACL, uma vez que a maioria dos consumidores residenciais o desconhecem. O impacto do *marketing* é maior nos anos iniciais da migração, quando a publicidade é mais intensa.

Os fatores que alteram o custo inicial da migração, como o custo de contratação do comercializador varejista e o custo de encargos de migração, também possuem grande impacto na migração de acordo com os resultados do modelo. Uma parcela menor de consumidores se interessa pela migração ao ACL se o custo de migração é muito alto, mesmo que haja retorno sobre este investimento.

### 6.1 CONCLUSÃO

O estudo realizado, com uso de DS, revela a importância das políticas governamentais para fomentar a migração dos consumidores residenciais com o investimento em *marketing*, publicidade; além da ponderação do valor cobrado de

encargos para a migração. Nota-se também a importância da precificação do custo de contratação por parte dos comercializadores varejistas.

## 6.2 TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros sugere-se:

- Implementação no modelo da inclusão da decisão das novas unidades consumidoras residenciais entre os ambientes de contratação;
- Atualização do modelo para consideração de novas regulamentações e definições a respeito abertura do ACL para os consumidores residenciais;
- Aplicação do modelo para menor escala geográfica, como estados ou regiões de atendimento de uma distribuidora de energia, com a adaptação da estimação dos parâmetros;
- Modelagem da competição entre duas empresas comercializadoras varejistas com o uso de Teoria de Jogos e Dinâmica de Sistemas.

## REFERÊNCIAS

ABRACEEL/EY. **Avaliação dos cenários possíveis para abertura organizada do setor elétrico brasileiro.** 2022. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2023/07/abertura-mercado-energia-2026-abraceel.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, 1998. **Resolução Normativa nº 265. de 13 de agosto de 1998.** Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/res1998265.pdf>. Acesso em: 3 de março de 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, 2013. **Resolução Normativa nº 570. de 23 de julho de 2013.** Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2013570.pdf>. Acesso em: 3 de março de 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, 2015. **Resolução Normativa nº 654. de 24 de março de 2015.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015654.pdf>. Acesso em: 3 de março de 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, 2021. **Resolução Normativa nº 1000. 2021.** Disponível em: [www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf](http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf). Acesso em 11 de dezembro de 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, 2022a. **Modalidades Tarifárias.** Disponível em: [www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/modalidades-tarifarias](http://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/modalidades-tarifarias). Acesso em 5 de fevereiro de 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, 2022b. **Resolução Normativa nº 1011 de 29 de março de 2022.** Disponível em <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=429801>. Acesso em 2 de março de 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, 2023a. **Tarifas Residenciais – Efeitos dos Reajustes Tarifários.** Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiZDFmMzIzM2QzM2EyNi00YjkyLWlxNDMtYTU4NTI0NWlyNTI5liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 13 de junho de 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, 2023b. **Tarifa Residencial – Evolução por Função de Custo.** Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiOTY0NWQzOGItMmQ3ZS00MWUzLTIIN>

mMtNTA5NTYxODdhYTkzliwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9. Acesso em: 14 de junho de 2023.

ALLES, A. S. **Modelo Para Estudos De Políticas de Migração de Consumidores Residenciais para o Mercado Livre**. Projeto de Diplomação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

ALVEZ, L.B. **Aplicação da dinâmica de sistemas no planejamento de projetos de desenvolvimento: projetos de habitação social**. 163p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

ASOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA – ABRADÉE, 2017. **Tarifas de Energia**. Disponível em: <https://www.abradee.org.br/setor-de-distribuicao/tarifas-de-energia/>. Acesso em 15 de agosto de 2021.

BAUMGARTEN, C. **Modelo para análise de inserção de pequenas fontes solares fotovoltaicas em sistemas de distribuição: uma abordagem multivariável**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

BORDIN, G. **Um modelo para estudos da demanda de energia elétrica em ambiente competitivo**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

BRASIL. **Lei nº. 9.074, de 7 de julho de 1995**. Estabelece a criação do consumidor livre. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1995/lei-9074-7-julho-1995-347472-norma-pl.html>. Acesso em: 16 de agosto de 2023

BRASIL. **Lei nº. 9.427, de 26 de dezembro de 1996**. Estabelece a criação da ANEEL. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1996/lei-9427-26-dezembro-1996-366792-norma-pl.html>. Acesso em: 16 de agosto de 2023

BRASIL. **Lei nº 12.212 de 20 de janeiro de 2010**. Dispõe sobre a Tarifa Social de Energia Elétrica; altera as Leis nos 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.925, de 23 de julho de 2004, e 10.438, de 26 de abril de 2002; e dá outras providências. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12212.HTM](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12212.HTM). Acesso em: 5 setembro de 2023.

BRASILa. Ministério de Minas e Energia/Gabinete do Ministro. **Portaria Normativa nº 50/GM/MME, de 27 de setembro de 2022**. Diário Oficial da União, Brasil, ano 2022, v. 185, n. 1, p. 188, 28 set. 2022.

BRASILb. Ministério de Minas e Energia/Gabinete do Ministro. **Portaria Normativa nº 690/GM/MME, de 29 de setembro de 2022**. Diário Oficial da União, Brasil, ano 2022, v. 187, n. 1, p. 74, 30 set. 2022.

BRASILc. **Lei nº 14.120 de 1 de março de 2021**. Transfere para a União as ações de titularidade da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) representativas do capital social da Indústrias Nucleares do Brasil S.A. (INB) e da Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A. (Nuclep); e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF.

CÂMERA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – CCEE. **Avanço na habilitação de comercializadores varejistas**. 2021. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/relatoriodeadministracao/30-mercado-10-2.html>. Acesso em 2 de março de 2023.

CAMPAGNANI, M.C. **Análise da Expansão do Mercado Livre de Energia no Brasil Incluindo Mercado Varejista**. 2021. Projeto de Diplomação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica Federal do Rio de Janeiro – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021

CREG (Colômbia). **Estructura del Sector**. 2023. Disponível em: <https://www.creg.gov.co/sectores-que-regulamos/energia-electrica/estructura-del-sector-0/estructura-del-sector>. Acesso em: 9 de março de 2023.

DAL RI, F. **Estudo sobre o Comercializador Varejista**. 2016. Projeto de Diplomação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE, 2023a. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023 – Ano Base 2022**. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario-livro/>. Acesso em 20 de junho de 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE, 2023b. **Consumo Residencial de Energia Elétrica por Classes de Renda**. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-729/FactSheetConsumoPorClassesDeRenda\\_Final09032023.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-729/FactSheetConsumoPorClassesDeRenda_Final09032023.pdf). Acesso em 20 de março de 2023.

Energy UK (EU). **The ongoing gas crisis: facts and mythbusting**. 2023. Disponível em: <https://www.energy-uk.org.uk/index.php/energy-industry/energy-industry-facts.html>. Acesso em: 8 de março de 2023.

Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos - ERSE. **Comercialização**. 2023. Disponível em: <https://www.erse.pt/eletricidade/funcionamento/comercializacao/>. Acesso em: 6 de março. de 2023.

FISHER, Irving. **A Teoria do juro: determinada pela impaciência de gastar renda e pela oportunidade de investi-la**. São Paulo: Abril Cultural, 1984.p. 50-53

FORD, A. **Modelling the Environment: An Introduction to System Dynamic Modelling of Environmental Systems**. 1ª Ed. Washington D.C.: Island Press, 1999.

FORRESTER, J. W. **Principles of Systems**. 2. ed. Portland: Productivity Press, 1990.

FORRESTER, J. W. **Some Basic Concepts in System Dynamics**. 29 de jan. de 2009. Disponível em: <http://static.clexchange.org/ftp/documents/system-dynamics/SD2009-02SomeBasicConcepts.pdf>. Acesso em 14 de março de 2023. IEA – International Energy Agency; Global EV Outlook

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA – IBGE, 2020. **PNAD Educação 2019: Mais da metade das pessoas de 25 anos ou mais não completaram o ensino médio**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/28285-pnad-educacao-2019-mais-da-metade-das-pessoas-de-25-anos-ou-mais-nao-completaram-o-ensino-medio>. Acesso em 3 de abril de 2023.

MEGAWHAT. **CCEE deve terminar 2023 com 98 comercializadores varejistas habilitados**. 2023. Disponível em: <https://megawhat.energy/news/149935/ccee-deve-terminar-2023-com-98-comercializadores-varejistas-habilitados>. Acesso em 12 de abril de 2023.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME, 2022. **Contribuições à Consulta Pública nº 137/2022, que tratou da redução dos limites de carga para contratação de energia elétrica no mercado livre por parte dos consumidores conectados em baixa tensão**. Disponível em [http://antigo.mme.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=c2195424-7a6f-3e51-b543-7c26791da358&groupId=36090](http://antigo.mme.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=c2195424-7a6f-3e51-b543-7c26791da358&groupId=36090) Acesso em 4 de fevereiro de 2023.

POWERSIM STUDIO. **BergenPowersim Software free AS**, 2023. Disponível em: <http://www.powersim.com>

RODRIGUES, A.B. **O Comercializador Varejista no Processo de Modernização do Mercado de Energia Elétrica Brasileiro**. 2022. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

SCHULTZ, J. V. **Simulador para o Mercado Livre de Energia: Uma Abordagem Sistêmica e Competitiva**. 2016. Projeto de Diplomação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

SENGE, Peter M. **A quinta disciplina – arte, teoria e prática da organização de aprendizagem**. São Paulo: Best Seller, 1990.

SILVA, M. F. A. **Modelo para planejamento de demanda de energia elétrica considerando o comportamento dos consumidores nos ambientes de contratação**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SOUZA, H. P. D. **Comercialização de Energia Elétrica na Visão do Consumidor Potencialmente Livre: Uma Abordagem Baseada em Dinâmica de Sistemas**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

STERMAN, J. D. **Business Dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world**. McGraw Hill. [S.l.]: Irwin/McGraw-Hill, 2000. 19, 22, 24

## APÊNDICE A – RESULTADOS COMPLEMENTARES

Este apêndice apresenta resultados complementares aos mostrados anteriormente. Um valor hipotético é atribuído para os parâmetros “*Marketing*”, “Custo de contratação do CV inicial” e “Encargos de migração” em cada caso, a fim de simular possíveis progressões da migração dos domicílios residenciais para o ACL. O Quadro 12 apresenta para cada caso os valores atribuídos aos parâmetros de cenário e o resultado do modelo para dezembro de 2033 e dezembro de 2045.

Os domicílios considerados para a migração são aqueles com renda igual ou superior a três salários mínimos, ou seja, 33.233.343 domicílios. Assim, os percentuais analisados a seguir referem-se a estes domicílios.

Quadro 12 – Resultados Complementares

| <b>Caso</b> | <b><i>Marketing</i></b> | <b>Custo de contratação do CV inicial</b> | <b>Encargos de migração</b> | <b>Domicílios Residenciais no ACL / % (em dezembro de 2033)</b> | <b>Domicílios Residenciais no ACL / % (em dezembro de 2045)</b> |
|-------------|-------------------------|---|-----------------------------|---|---|
| <b>1</b>    | 100%                    | R\$ 10,00                                 | R\$ 0,00                    | 29.154.154 / 87,7%  | 31.265.156 / 94,1%  |
| <b>2</b>    | 75%                     | R\$ 25,00                                 | R\$ 0,00                    | 26.998.069 / 81,2%  | 30.315.398 / 91,2%  |
| <b>3</b>    | 25%                     | R\$ 100,00                                | R\$ 15,00                   | 6.442.224 / 19,4%   | 10.020.816 / 30,2%  |
| <b>4</b>    | 0%                      | R\$ 100,00                                | R\$ 30,00                   | 1.920.760 / 5,8%  | 4.018.464 / 12,1%   |

Fonte: O autor

No Caso 1, são atribuídos aos parâmetros os valores mais propícios à migração. De acordo com a resposta do modelo, aproximadamente 87,7% dos domicílios considerados migram ao ACL até dezembro de 2033 e 94,1% até o fim do horizonte de estudo, ou seja, dezembro de 2045.

No Caso 2, os parâmetros possuem valores favoráveis à migração, porém com “*Marketing*” inferior e “Custo de contratação do CV inicial” superior ao do Caso 1. De acordo com a resposta do modelo, aproximadamente 81,2% dos domicílios considerados migram ao ACL até dezembro de 2033 e 91,2% até o fim do horizonte de estudo.

O Caso 3 representa uma situação pouco favorável à migração, em que o custo para realizar a migração é mais alto e o nível de “*Marketing*” é menor e, conseqüentemente, a intensidade da “Publicidade” é pequena. De acordo com a resposta do modelo, aproximadamente 19,4% dos domicílios considerados migram ao ACL até dezembro de 2033 e 30,2% até o fim do horizonte de estudo.

O Caso 4 constitui a situação menos favorável à migração, em que não há “*Marketing*” e “Publicidade” e o custo para realizar a migração é alto. De acordo com a resposta do modelo, aproximadamente 5,8% dos domicílios considerados migram ao ACL até dezembro de 2033 e 12,1% até o fim do horizonte de estudo.

Os resultados apresentados no Quadro 12 são coerentes com a expectativa da realidade em todos os casos simulados, mostrando a capacidade do modelo de simular casos e cenários com características distintas de forma adequada, mostrando a tendência do mercado livre.

## APÊNDICE B – VALOR DA TARIFA CONSIDERANDO OS IMPOSTOS DE PIS, COFINS E ICMS

O valor da tarifa considerando os impostos de PIS, COFINS E ICMS é dado pela equação (31).

$$V_{imp} = \frac{V}{1 - (PIS + COFINS + ICMS)} \quad (31)$$

Onde:

$V_{imp}$  é o valor com os impostos (R\$);

$V$  é o valor sem os impostos (R\$);

$PIS$  é o valor da alíquota do PIS (%);

$COFINS$  é o valor da alíquota do COFINS (%); e

$ICMS$  é o valor da alíquota do ICMS (%).