

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
NÍVEL DOUTORADO**

JONATAS CAMPOS MARTINS

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA:
Modelo para estimativa do potencial impacto financeiro em unidades
consumidoras industriais de uso não intensivo de energia**

**São Leopoldo
2019**

JONATAS CAMPOS MARTINS

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA:
Modelo para estimativa do potencial impacto financeiro em unidades consumidoras
industriais de uso não intensivo de energia

Tese apresentada como requisito parcial
para obtenção do Título de Doutor em
Engenharia de Produção e Sistemas pelo
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção e Sistemas da
Universidade do Vale do Rio dos Sinos –
UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Isabel Wolf Motta Morandi

São Leopoldo
2019

M386e Martins, Jonatas Campos

Eficiência energética e microgeração distribuída : modelo para estimativa do potencial impacto financeiro em unidades consumidoras industriais de uso não intensivo de energia / por Jonatas Campos Martins. – 2020.

275 f. : il., 30 cm.

Tese (doutorado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, 2020.

Orientação: Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda ;

Catlogação na Fonte:

Bibliotecária Vanessa Borges Nunes - CRB 10/1556

JONATAS CAMPOS MARTINS

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA:
Modelo para estimativa do potencial impacto financeiro em unidades
consumidoras industriais de uso não intensivo de energia**

Tese apresentada como requisito parcial
para obtenção do Título de Doutor em
Engenharia de Produção e Sistemas pelo
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção e Sistemas da
Universidade do Vale do Rio dos Sinos –
UNISINOS

Aprovada em 7 de janeiro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda – Orientador
PPGEPS/UNISINOS

Prof.^a Dr.^a Maria Isabel Wolf Motta Morandi – Coorientadora
PPGEPS/UNISINOS

Prof. Dr. José Antônio Valle Antunes Júnior
PPGEPS/UNISINOS

Prof. Dr. Miguel Afonso Sellitto
PPGEPS/UNISINOS

Prof. Dr. Julio Cezar Mairesse Siluk
PPGEP/UFSM

Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel
PPGEP/UFRGS

Prof. Dr. Luiz Pinguelli Rosa
COPPE/UFRJ

AGRADECIMENTOS

Sou imensamente grato à Unisinos por ter me acolhido tão bem há mais de 20 anos. Entrei na referida Instituição em 1998 e pude percorrer uma trajetória que me transformou. Jamais imaginei que seria aluno, professor e pesquisador dessa Universidade que tem a nobre missão de promover a formação integral da pessoa humana.

Sou grato a todos os professores que me inspiraram e me conduziram durante esta jornada. Lembro-me do primeiro contato que tive com um artigo científico, em uma aula em que o Prof. Sellitto me apresentou o fascinante mundo da pesquisa. Recordo-me da aula em que o Prof. Cassel falou sobre modelagem matemática. Tive a honra de ser aluno da primeira turma do Prof. Junico na Unisinos e, desde então, passei a ver a Engenharia de Produção com outros olhos. As aulas de Pesquisa Operacional com o Prof. Luis Henrique foram reveladoras. Essas são lembranças simples que reverbam na minha memória até hoje, inspirando-me a seguir o caminho que trilho atualmente.

Sou grato, especialmente, ao meu orientador, Prof. Daniel Pacheco Lacerda. Obrigado por ter aceitado ser meu orientador e pela coragem de ser um verdadeiro Professor, um professor raiz, algo raro nos tempos atuais. Parabéns por sua coragem de ousar nas aulas do Doutorado, levando os alunos a compreender, na prática, que a ciência e o mundo real andam juntos. O projeto no CEIC foi marcante. Sem você, esse trabalho não teria terminado. Agradeço à Profa. Maria Isabel pelas orientações precisas que me permitiram enxergar o verdadeiro potencial da pesquisa que eu estava realizando.

Sou grato aos profissionais das empresas envolvidas no estudo, em especial ao Engenheiro Alexandre Saccol. É raro ver uma pessoa que acredita tanto no potencial de Pesquisa e Desenvolvimento deste país. Obrigado, Saccol.

Por fim, agradeço à minha esposa, Carine Simas, e a meus filhos, Augusto e Pedro. Vocês suportaram a minha ausência durante um longo período e merecem toda a minha gratidão.

*"First make sacred pact. I promise teach karate. That my part.
You promise learn. I say, you do, no questions. That your part."*

Kesuke Miyagi

*"Neo, sooner or later you're going to realize just as I did that
there's a difference between knowing the path and walking the path."*

Morpheus

RESUMO

O setor industrial é o maior consumidor de energia do mundo. Nesse setor, as empresas classificadas como não intensivas em energia, como as pequenas e médias empresas (PME), têm um potencial de eficiência energética inexplorado. É possível evidenciar que a literatura acadêmica reconhece a existência do chamado *gap* de eficiência energética, que está relacionado a não implementação de medidas de gestão de energia e eficiência energética, apesar da boa relação custo-benefício dessas iniciativas. As pesquisas destinadas a estudar esse potencial inexplorado apresentam soluções tecnológicas, e não abordam os riscos e as incertezas conjunturais que podem influenciar a adoção de uma solução tecnológica. Este estudo tem como objetivo propor um modelo de avaliação do potencial impacto financeiro de ações de eficiência energética e microgeração distribuída em unidades consumidoras industriais de uso não intensivo de energia. A Modelagem Dinâmica de Sistemas é utilizada para modelar o comportamento de duas empresas brasileiras de médio porte. Os cenários consideram como incertezas as variações no panorama macroenergético, a saber, alterações em parâmetros como Produto Interno Bruto (PIB), Bandeira Tarifária (BTar), Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) e Revisão Tarifária Periódica (RTP), que resulta na Revisão Tarifária Anual (RTA). Variáveis relacionadas especificamente ao ambiente para inserção de Microgeração Distribuída (MGD) complementam as variações de cenários, representando diferentes combinações do Sistema de Compensação de Energia (SCE), Incentivos Fiscais e Subsídios. Os resultados financeiros estimados em cada cenário são apresentados e analisados considerando as premissas do modelo computacional. O modelo desenvolvido permite avaliar medidas complementares às métricas financeiras atuais em ambiente de incertezas, identificando quais alternativas são mais robustas. A partir do modelo, é possível identificar decisões que acarretariam sobreinvestimento, destacando as variáveis que mais influenciam essa situação. O modelo preenche lacunas teóricas identificadas na literatura com relação ao processo de decisão sobre investimentos em eficiência energética.

Palavras-chave: Gestão de Energia. Modelagem de Dinâmica de Sistemas. Eficiência Energética em Ambientes Industriais.

ABSTRACT

The industrial sector is the largest consumer of energy in the world. In this sector, companies classified as non-energy intensive have untapped energy efficiency potential, such as small and medium-sized enterprises (SMEs). It is possible to evidence that the academic literature acknowledges the existence of the so-called energy efficiency gap, which is related to the non-implementation of energy management and energy efficiency measures, despite their cost-benefit ratio. Research to study this untapped potential presents a technological solution and does not address the risks and uncertainties that may influence the adoption of a technological solution. This study aimed to propose a model for evaluating the potential financial impact of energy efficiency and microgeneration actions distributed in non-energy-intensive industrial consumer units. The Dynamic Systems Modeling was used to model the behavior of two medium-sized Brazilian companies. The scenarios considered as uncertainties the variations in the macro energy panorama, changing parameters with Gross Domestic Product (GDP), Tariff Flag (BTar), Energy Development Cost (CDE), National Wide Consumer Price Index (IPCA), Periodic Tariff Review (RTP) that result in the Annual Tariff Review (RTA). Variables specifically related to the environment for the insertion of MGD complemented the scenario variations, representing the different combinations of the Energy Compensation System (SCE), Tax Incentives and subsidies. The estimated financial results of each scenario are presented and analyzed considering the premises of the computational model. The model developed allowed to evaluate complementary measures to the current financial metrics in an uncertain environment, identifying the most robust alternatives. From the model it was possible to identify decisions that would lead to overinvestment and highlight the variables that most influence. The model fills theoretical gaps identified in the literature related to the decision process about energy efficiency investments.

Index terms: Energy Management; System Dynamics Modeling; Energy Efficiency in Industrial Environments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo teórico atual a partir da RSL	32
Figura 2 – Desenho de pesquisa.....	34
Figura 3 – Processo de busca, elegibilidade e codificação	39
Figura 4 – Rede de coautoria.....	55
Figura 5 – Redes de termos ao longo do tempo.....	56
Figura 6 - Densidade dos termos	57
Figura 7 – Principais aspectos do EnMS em manufatura	67
Figura 8 – Relação entre barreiras e <i>drivers</i> no processo de decisão para EE	74
Figura 9 – Exemplo de Diagrama de Enlace Causal	76
Figura 10 – Exemplo de Diagrama de Estoque e Fluxo.....	78
Figura 11 – Modelo para avaliação das ações para EE	84
Figura 12 – Estratégia para condução de pesquisas científicas.....	88
Figura 13 – Método de trabalho.....	93
Figura 14 – Diagrama de Enlace Causal (versão final).....	105
Figura 15 – Grupo 1: Variáveis de Conjuntura Energética	107
Figura 16 – Grupo 2: Barreiras e <i>Drivers</i> externos.....	109
Figura 17 – Grupo 3: Ambiente de Distribuição de Energia	111
Figura 18 – Grupo 4: Ambiente Interno da Firma	113
Figura 19 – Grupo 5: Ambiente de Eficiência Energética	114
Figura 20 – Modelo Conceitual.....	115
Figura 21 – Módulo Tarifário	117
Figura 22 – Módulo Sistemas de Compensação de Energia	121
Figura 23 – Módulo Microgeração Distribuída	123
Figura 24 – Módulo Sistema de Armazenamento de Energia.....	126
Figura 25 – Eficiência do SAE	127
Figura 26 – Módulo Ações de Eficiência Energética.....	129
Figura 27 – Módulo Firma.....	130
Figura 28 – Módulo CAPEX	134
Figura 29 – Custo de instalação do kWp	134
Figura 30 – Módulo OPEX.....	137
Figura 31 – Módulo Intensidade Energética.....	140
Figura 32 – Módulo Parâmetros e Decisões	141

Figura 33 – Modelo Dinâmico das Ações de Eficiência Energética	142
Figura 34 – Modelo Dinâmico das Ações de Eficiência Energética completo	148
Figura 35 – Diagrama de Fronteiras do Modelo	149

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Projeção da distribuição do consumo por setor	23
Gráfico 2 – Número de publicações por ano.....	50
Gráfico 3 – Número de publicações por periódico	51
Gráfico 4 – <i>Heatmap</i> das Variáveis de Resposta da Firma AT em relação aos Cenários e à AMGD	174
Gráfico 5 – <i>Heatmap</i> das Variáveis de Resposta da Firma AT em relação aos Cenários e ao ASAE.....	175
Gráfico 6 – <i>Heatmap</i> da Firma AT em relação aos Cenários e à APEE	176
Gráfico 7 – Análise de Componentes Principais da Firma AT	177
Gráfico 8 – Coordenadas paralelas Firma AT	178
Gráfico 9 – <i>Heatmap</i> das Variáveis de Resposta da Firma BT: Cenários e AMGD	203
Gráfico 10 – <i>Heatmap</i> das Variáveis de Resposta da Firma BT: Cenários e ASAE	204
Gráfico 11 – <i>Heatmap</i> das Variáveis de Resposta da Firma BT: Cenários e APEE	205
Gráfico 12 – Análise de Componentes Principais da Firma BT	206
Gráfico 13 – Coordenadas paralelas da Firma BT	208
Gráfico 14 – <i>Boxplots</i> do CME em relação aos Cenários e às Firmas	210
Gráfico 15 – <i>Boxplots</i> do GANHO em relação aos Cenários e às Firmas	211
Gráfico 16 – <i>Boxplots</i> do ROI em relação aos Cenários e às Firmas.....	212
Gráfico 17 – <i>Boxplots</i> do CME em relação à AMGD e às Firmas	213
Gráfico 18 – <i>Boxplots</i> do GANHO e ROI em relação à AMGD e às Firmas	214
Gráfico 19 – <i>Boxplots</i> do CME em relação ao ASAE e às Firmas	214
Gráfico 20 – <i>Boxplots</i> do CME em relação à APEE e às Firmas	215

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Críticas às abordagens atuais	33
Quadro 2 – Termos de Busca	37
Quadro 3 – Categorias para análise de conteúdo.....	58
Quadro 4 – Conceitos vinculados à EE em ambientes industriais	59
Quadro 5 – Barreiras para eficiência energética	68
Quadro 6 – <i>Drivers</i> para eficiência energética.....	70
Quadro 7 – Notação para elaboração do DEC	76
Quadro 8 – Elementos do Diagrama de Estoque e Fluxo.....	77
Quadro 9 – Artefatos encontrados	82
Quadro 10 – Síntese dos artefatos	83
Quadro 11 – Características das classificações da pesquisa quanto ao objetivo	88
Quadro 12 – Características do pragmatismo à luz dos pressupostos de pesquisa	90
Quadro 13 – Adequação da Design Science aos objetivos da pesquisa	91
Quadro 14 – Quadro resumo da Etapa Piloto	95
Quadro 15 – Perfil dos especialistas participantes.....	97
Quadro 16 – Perguntas para avaliar o modelo	100
Quadro 17 – Testes para avaliação de modelos dinâmicos.....	100
Quadro 18 – Conjunto de apontamentos do DEF-Piloto	103
Quadro 19 – Resumo da Etapa de refinamento	104
Quadro 20 – Grupos de variáveis	104
Quadro 21 – Grupo 1: Variáveis de Conjuntura Energética	106
Quadro 22 – Grupo 2: Barreiras e <i>Drivers</i> externos.....	108
Quadro 23 – Grupo 3: Ambiente de Distribuição de Energia	110
Quadro 24 – Grupo 4: Ambiente Interno da Firma	111
Quadro 25 – Grupo 5: Ambiente de Eficiência Energética	113
Quadro 26 – Elementos do Módulo Tarifário.....	118
Quadro 27 – Elementos do Módulo SCE.....	121
Quadro 28 – Elementos do Módulo MGD	125
Quadro 29 – Elementos do Módulo SAE	127
Quadro 30 – Elementos do Módulo AEE	130
Quadro 31 – Elementos do Módulo Firma	132
Quadro 32 – Elementos do Módulo CAPEX.....	136

Quadro 33 – Elementos do Módulo OPEX.....	139
Quadro 34 – Elementos do Módulo IE	141
Quadro 35 – Framework XLRM.....	143
Quadro 36 – Cenários.....	144
Quadro 37 – Resumo dos pressupostos para as incertezas.....	145
Quadro 38 – Síntese das Ações de Eficiência Energética disponíveis	146
Quadro 39 – Variáveis de resposta utilizadas para avaliação.....	150
Quadro 40 – Lacunas preenchidas pelo modelo	217

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo por setor no Brasil (GWh).....	23
Tabela 2 – Consumo por tipo de indústria no Brasil (GWh)	26
Tabela 3 – Registros encontrados na RSL.....	38
Tabela 4 – Publicações anuais dos principais periódicos.....	52
Tabela 5 – Análise de coautoria.....	53
Tabela 6 – Classificação dos estudos por abordagem e tema	60
Tabela 7 – Classificação dos <i>drivers</i> de acordo com sua natureza	73
Tabela 8 – Informações técnicas do SAE.....	135
Tabela 9 – Dados de produção da Firma AT	152
Tabela 10 – Dados de energia da firma AT.....	153
Tabela 11 – Análise descritiva das variáveis de resposta da Firma AT	154
Tabela 12 – Correlações entre as variáveis de resposta da Firma AT	154
Tabela 13 – Testes de normalidade - Firma AT	155
Tabela 14 – Comparação de TFE em relação aos Cenários	155
Tabela 15 – Comparações múltiplas de TFE em relação aos Cenários	156
Tabela 16 – Comparação de IE em relação aos Cenários.....	156
Tabela 17 – Comparação de CME em relação aos Cenários.....	157
Tabela 18 – Comparações múltiplas de CME em relação aos Cenários.....	158
Tabela 19 – Comparação de CAPEX em relação aos Cenários	158
Tabela 20 – Comparação de OPEX em relação aos Cenários.....	159
Tabela 21 – Comparações múltiplas de OPEX em relação aos Cenários.....	159
Tabela 22 – Comparação de CUSTO em relação aos Cenários.....	160
Tabela 23 – Comparações múltiplas de CUSTO em relação aos Cenários	160
Tabela 24 – Comparação de CUSTO BASE em relação aos Cenários	161
Tabela 25 – Comparação de GANHO em relação aos Cenários	161
Tabela 26 – Comparações múltiplas de GANHO em relação aos Cenários	162
Tabela 27 – Comparação de ROI em relação aos Cenários.....	162
Tabela 28 – Comparações múltiplas de ROI em relação aos Cenários.....	163
Tabela 29 – Comparação de TFE em relação à AMGD.....	164
Tabela 30 – Comparação de IE em relação à AMGD	164
Tabela 31 – Comparação de CME em relação à AMGD	165
Tabela 32 – Comparação de CAPEX em relação à AMGD.....	165

Tabela 33 – Comparações múltiplas de CAPEX em relação à AMGD	166
Tabela 34 – Comparação de OPEX em relação à AMGD	167
Tabela 35 – Comparação de CUSTO em relação à AMGD	167
Tabela 36 – Comparação de CUSTO BASE em relação à AMGD	168
Tabela 37 – Comparação de GANHO em relação à AMGD.....	168
Tabela 38 – Comparações múltiplas de GANHO em relação à AMGD.....	169
Tabela 39 – Comparação de ROI em relação à AMGD	170
Tabela 40 – Comparação das variáveis de resposta em relação ao ASAE	171
Tabela 41 – Comparação das variáveis de resposta em relação à APEE	172
Tabela 42 – Dados de energia da firma BT.....	181
Tabela 43 – Descrição das variáveis de resposta	181
Tabela 44 – Correlações entre as variáveis de resposta	182
Tabela 45 – Testes de normalidade	182
Tabela 46 – Comparação de TFE em relação aos Cenários	183
Tabela 47 – Comparações múltiplas de TFE em relação aos Cenários	183
Tabela 48 – Comparação de IE em relação aos Cenários.....	184
Tabela 49 – Comparação de CME em relação aos Cenários.....	184
Tabela 50 – Comparações múltiplas de CME em relação aos Cenários	185
Tabela 51 – Comparação de CAPEX em relação aos Cenários	185
Tabela 52 – Comparação de OPEX em relação aos Cenários.....	186
Tabela 53 – Comparações múltiplas de OPEX em relação aos Cenários.....	186
Tabela 54 – Comparação de CUSTO em relação aos Cenários.....	187
Tabela 55 – Comparações múltiplas de CUSTO em relação aos Cenários.....	187
Tabela 56 – Comparação de CUSTO BASE em relação aos Cenários	188
Tabela 57 – Comparação de GANHO em relação aos Cenários	188
Tabela 58 – Comparações múltiplas de GANHO em relação aos Cenários	189
Tabela 59 – Comparação de ROI em relação aos Cenários.....	189
Tabela 60 – Comparações múltiplas de ROI em relação aos Cenários.....	190
Tabela 61 – Comparação de TFE em relação à AMGD	190
Tabela 62 – Comparações múltiplas de TFE em relação à AMGD	191
Tabela 63 – Comparação de IE em relação à AMGD	191
Tabela 64 – Comparação de CME em relação à AMGD	192
Tabela 65 – Comparações múltiplas de CME em relação à AMGD	193
Tabela 66 – Comparação de CAPEX em relação à AMGD.....	193

Tabela 67 – Comparações múltiplas de CAPEX em relação à AMGD	194
Tabela 68 – Comparação de OPEX em relação à AMGD	194
Tabela 69 – Comparações múltiplas de OPEX em relação à AMGD	195
Tabela 70 – Comparação de CUSTO em relação à AMGD	195
Tabela 71 – Comparações múltiplas de CUSTO em relação à AMGD	196
Tabela 72 – Comparação de CUSTO BASE em relação à AMGD	197
Tabela 73 – Comparação de GANHO em relação à AMGD.....	197
Tabela 74 – Comparações múltiplas de GANHO em relação à AMGD.....	198
Tabela 75 – Comparação de ROI em relação à AMGD	198
Tabela 76 – Comparações múltiplas de ROI em relação à AMGD	199
Tabela 77 – Comparação das variáveis de resposta em relação ao ASAE	200
Tabela 78 – Comparação das variáveis de resposta em relação à APEE.....	201

LISTA DE SIGLAS

ABESCO	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia
ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
AEE	Ação de Eficiência Energética
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
AIR	Análise de Impacto Regulatório
AMGD	Capacidade Instalada em Microgeração Distribuída
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASAE	Uso do Sistema de Armazenamento de Energia
ARS	Análise de Redes Sociais
AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
BTar	Bandeira Tarifária
CAPEX	Despesa de Capital
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CEC	Custo da Energia Comprada
CGE	Custo para Gerar Energia
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CME	Custo médio de energia
CRG	Conversor Regenerativo
DEC	Diagrama de Enlace Causal
DEF	Diagrama de Estoque e Fluxo
DES	Simulação Discreta por Eventos
DIC	Interrupção Individual por Unidade Consumidora
DSR	<i>Design Science Research</i>
EE	Eficiência energética
EFSD	Fundo Europeu de Investimentos Estratégicos
EMA	Modelagem e Análise Exploratória
EnMS	Sistema de Gestão de Energia
ENR	Energia não renovável
EOL	Usina Eólicoelétrica

EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESCO	Empresas Distribuidoras de Energia Elétrica
ETO	<i>Enginnering To Order</i>
EU	União Europeia
EUMETSAT	<i>European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites</i>
FIERGS	Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul
FTE	Fontes Tradicionais de Energia
GD	Geração Distribuída
GEE	Gases de efeito estufa
GSC	<i>Global Supply Chain</i>
GWh	<i>Gigawatt-hora</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IE	Intensidade Energética
IEA	Agência Internacional de Energia
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
IRT	Índice de Reajuste Tarifário
JMA	<i>Japan Meteorological Agency</i>
kWp	kilowatt-pico
MCDM	<i>Multiple-criteria decision-making</i>
MDAEE	Modelo Dinâmico das Ações de Eficiência Energética
MDS	Modelagem de Dinâmica de Sistemas
MGD	Microgeração Distribuída
MME	Ministério de Minas e Energia
ModAEE	Módulo Ações de Eficiência Energética
ModCPX	Módulo CAPEX
ModFir	Módulo Firma
ModIE	módulo Intensidade Energética
ModOPX	Módulo OPEX
ModSAE	Módulo Sistema de Armazenamento de Energia
ModSCE	Módulo Sistema de Compensação de Energia
ModTar	Módulo Tarifário
MWh	<i>Megawatt-hora</i>

NBR	Norma Brasileira de Regulação
NFE	Novas Fontes de Energia
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NOS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
OPEX	Despesa Operacional e de Manutenção de Equipamentos
PB	<i>Payback</i>
PEE	Prática de Eficiência Energética
PIB	Produto Interno Bruto
PME	Pequenas e Médias Empresas
RDM	<i>Robust Decision Making</i>
ROI	Retorno sobre o Investimento
RSL	Revisão Sistemática de Literatura
RTA	Revisão Tarifária Anual
RTP	Revisão Tarifária Periódica
SAE	Sistemas de Armazenamento de Energia
SCE	Sistema de Compensação de Energia
SGE	Sistema de Gestão de Energia
TE	Tarifa de Energia Elétrica
Tep	Tonelada equivalente de petróleo
TFE	Tarifa Final de Energia
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
TIR	Taxa Interna de Retorno
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
UC	Unidade Consumidora
UEP	Unidade de Esforço de Produção
UFV	Usina Fotovoltaica
UHE	Usina Hidroelétrica
UTE	Usina Termelétrica
VPL	Valor Presente Líquido
WEC	Conselho Mundial de Energia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	22
1.1 OBJETO E PROBLEMA DE PESQUISA	27
1.2 OBJETIVOS	35
1.2.1 Objetivo Geral	35
1.2.2 Objetivos Específicos	35
1.3 JUSTIFICATIVA.....	36
1.3.1 Contexto acadêmico	36
1.3.2 Contexto empresarial	41
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	45
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	46
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	47
2.1 O CONCEITO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	47
2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO.....	50
2.2.1 Análise descritiva	50
2.2.2. Análise de conteúdo	58
2.2.2.1 Conceitos relacionados à eficiência energética em ambientes industriais	59
2.2.2.2 Estratégia	61
2.2.2.3 Indicadores	62
2.2.2.4 Práticas.....	65
2.3 FATORES PARA ADOÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	68
2.3.1 Barreiras	68
2.3.2 Drivers	70
2.4 MODELAGEM DE DINÂMICA DE SISTEMAS	75
2.5 MODELAGEM TEÓRICA	80
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	87
3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	87
3.2 MÉTODO DE PESQUISA	91
3.3 MÉTODO DE TRABALHO.....	92
3.3.1 Desenvolvimento	94
3.3.1.1 Levantamento das variáveis	94
3.3.1.2 Construção do Diagrama de Enlace Causal	95
3.4 TÉCNICAS DE COLETA DE DADOS.....	96

3.5 TÉCNICAS DE ANÁLISE DE DADOS.....	98
4 DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO.....	103
4.1 MODELO CONCEITUAL	114
4.2 CONSTRUÇÃO DO MODELO (DEF).....	116
4.2.1 Módulo Tarifário	117
4.2.2 Módulo Sistema de Compensação	119
4.2.3 Módulo Microgeração Distribuída	122
4.2.4 Módulo Sistema de Armazenamento de Energia	125
4.2.5 Módulo Ações de Eficiência Energética	128
4.2.6 Módulo Firma	130
4.2.7 Módulo CAPEX	133
4.2.8 Módulo OPEX.....	136
4.2.9 Módulo Intensidade Energética	140
4.2.10 Módulo Parâmetros e Decisões	141
4.2.11 Modelo Dinâmico das Ações de Eficiência Energética	141
4.3. PROPOSTA DE INSTANCIACÃO DO MODELO A PARTIR DO PROCESSO DE ESTRUTURAÇÃO DA RDM	143
4.3.1. Incertezas (X)	143
4.3.2. Ações (A).....	145
4.3.3. Relações (R)	147
4.3.4. Métricas (M).....	150
5 ANÁLISE DAS ESTIMATIVAS DO POTENCIAL IMPACTO FINANCEIRO A PARTIR DO MDAEE.....	151
5.1 RESULTADOS PARA A FIRMA AT	152
5.1.1. Análise descritiva das variáveis de resposta	153
5.1.2. Comparação das variáveis de resposta da Firma AT em relação aos Cenários.....	155
5.1.3. Comparação das variáveis de resposta da Firma AT em relação à AMGD	163
5.1.4. Heatmaps das Variáveis de Resposta da Firma AT	173
5.1.5. Análise de Componentes Principais para a Firma AT	176
5.1.6. Gráficos de coordenadas paralelas para a Firma AT	178
5.1.7. Conclusões da Análise de AT	179
5.2 RESULTADOS PARA A FIRMA BT	180

5.2.1. Análise descritiva das variáveis de resposta da Firma BT	181
5.2.2. Comparação das variáveis de resposta da Firma BT em relação aos Cenários	183
5.2.3. Comparação das variáveis de resposta da Firma BT em relação às AEE	190
5.2.4. <i>Heatmaps</i> das Variáveis de Resposta da Firma BT	202
5.2.5. Análise de Componentes Principais para a Firma BT	206
5.2.6. Gráficos de coordenadas paralelas da Firma BT	207
5.2.7. Conclusões da Análise da Firma BT	209
5.3 ANÁLISE COMPARATIVA DAS VARIÁVEIS DE RESPOSTA DAS FIRMAS AT E BT	210
6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	216
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	221
REFERÊNCIAS.....	224
APÊNDICE A - PROTOCOLO DA RSL	236
APÊNDICE B - RELATÓRIO DO PROJETO PILOTO	238
APÊNDICE C - EQUAÇÕES DO MDAEE.....	268

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento energético é um barômetro do desenvolvimento econômico. Países que buscam o crescimento econômico necessariamente consumirão mais energia. Entretanto, ampliar os níveis de produção e utilização de energia por meio das tecnologias existentes pode ser difícil, dispendioso e ambientalmente insustentável. (SUDHAKARA REDDY, 2013).

Até a crise econômica da década de 1970, os custos de energia eram reduzidos se comparados aos demais gastos de produção, o que levou a um aumento descontrolado no consumo de energia. (APLAK; SOGUT, 2013). A crise do petróleo desafiou o mundo industrializado, forçando os tomadores de decisão e pesquisadores a pensar em um futuro no qual seria necessário recorrer a fontes de energia alternativas e reduzir o consumo. (OLANREWAJU; JIMOH, 2014).

Eficiência energética (EE) se refere ao uso cada vez menor de energia na produção de uma “saída útil”. Em ambientes industriais, essa saída útil pode ser considerada a quantidade de serviços ou produtos gerados a partir de um processo produtivo. (APLAK; SOGUT, 2013). Nesse sentido, o incremento da eficiência energética pode ser alcançado com o uso de tecnologias mais eficientes, com a recuperação de energia no mesmo processo ou maior uso de resíduos de energia em diferentes processos e com uma maior eficiência de conversão de energia ou práticas operacionais otimizadas. (BUNSE et al., 2011; PERRONI et al., 2017).

O contexto industrial competitivo envolve mudanças mercadológicas, econômicas, políticas e tecnológicas, remetendo à necessidade de abordagens que possam auxiliar a avaliar o impacto das decisões e tecnologias utilizadas para incremento da eficiência energética. (FENERICH; DA COSTA; DE LIMA, 2017). Nesse cenário, a gestão de energia pode assumir um papel relevante para contribuir com o aumento da lucratividade e produtividade das empresas. (APLAK; SOGUT, 2013). Ao mesmo tempo, negligenciar a gestão de energia e eficiência energética pode restringir o desempenho das organizações.

A demanda energética é, geralmente, decomposta em setores. No estudo elaborado pela Empresa de Pesquisa e Energia (EPE), são apresentados o consumo de energia por setor nos últimos cinco anos (ver Tabela 1), bem como as projeções de evolução da participação setorial no consumo total de energia no Brasil até 2050 (ver Gráfico 1).

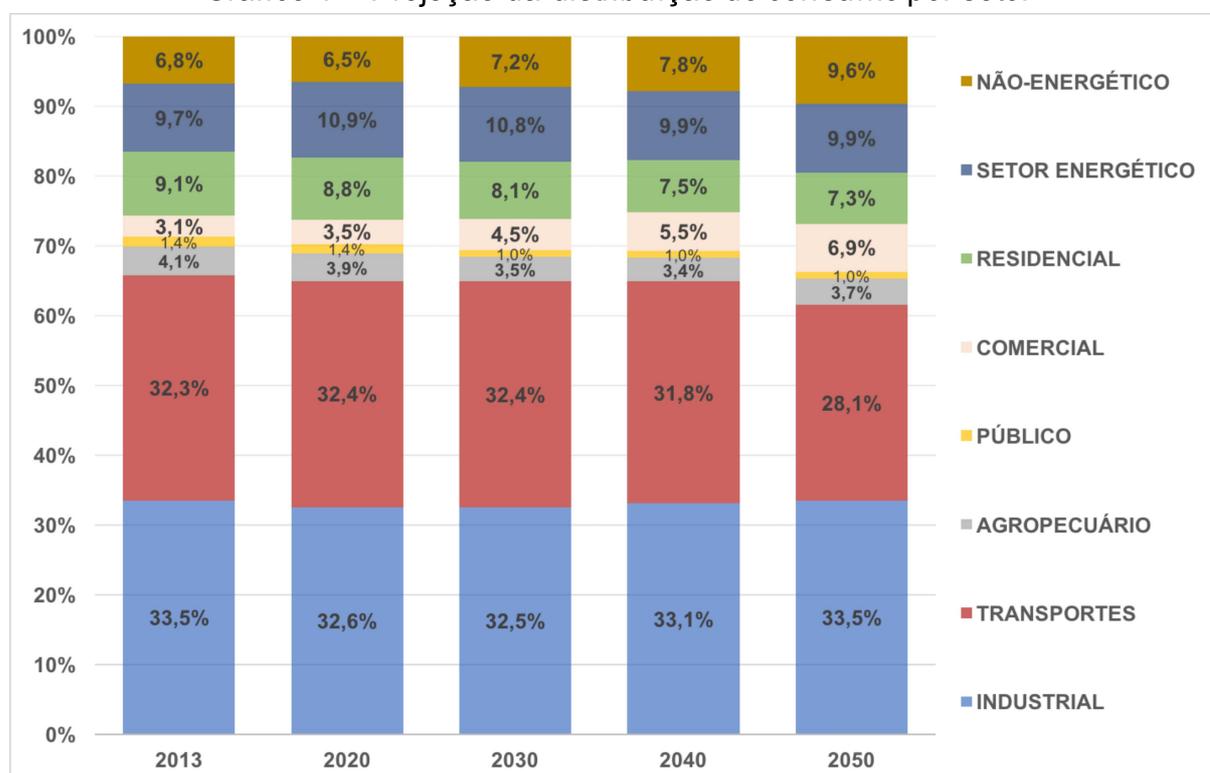
Tabela 1 – Consumo por setor no Brasil (GWh)

Setor	2013	2014	2016	2017	2018	Part. % (2018)
Brasil	474.823	465.708	461.780	467.161	474.820	100 %
Residencial	132.302	131.190	132.872	134.368	137.615	29,0%
Industrial	179.106	169.289	165.314	167.398	169.625	35,7%
Comercial	89.840	90.768	87.873	88.292	88.631	18,7%
Rural	25.671	25.899	27.266	28.136	29.168	6,1%
Poder público	15.355	15.196	15.096	15.052	15.076	3,2%
Iluminação pública	14.043	15.333	15.035	15.443	15.690	3,3%
Serviço público	15.242	14.730	14.969	15.196	15.778	3,3%
Próprio	3.265	3.304	3.355	3.277	3.238	0,7%

Fonte: Adaptado de (EPE, 2019a).

A partir dos dados apresentados na Tabela 1, é possível constatar que o setor industrial é o maior consumidor de energia no Brasil. Mesmo apresentando leve queda no consumo, esse setor foi responsável por 35,7% do gasto de energia em 2018, seguido pelos setores residencial e comercial, com 29% e 18,7%, respectivamente.

Gráfico 1 – Projeção da distribuição do consumo por setor



Fonte: Adaptado de (EPE, 2019a).

Esse perfil de consumo no Brasil tende a permanecer constante, conservando-se o padrão de distribuição percentual de consumo de energia até 2050. (EPE, 2019a).

As projeções apontadas no Gráfico 1 reforçam a tendência de que a indústria de manufatura continuará requerendo aproximadamente 1/3 (um terço) da energia primária, mantendo-se como um dos principais consumidores. (FENERICH; DA COSTA; DE LIMA, 2017). Esses dados corroboram as tendências mundiais e evidenciam a necessidade de avanço na área de eficiência energética em ambientes fabris.

A eficiência energética é uma das formas rápidas e econômicas de influenciar o desempenho ambiental dos estabelecimentos industriais. (APLAK; SOGUT, 2013). Isso significa que, para além dos valores de matéria-prima e das mudanças na demanda, a energia também é um fator que pode afetar os negócios e a competitividade das empresas. Entretanto, a influência que a energia pode exercer nas organizações depende essencialmente do quanto ela é necessária, bem como da representatividade da quantidade de energia demandada em relação a outros recursos.

Existem diferentes abordagens para classificar empresas em relação ao consumo de energia. No Brasil, os termos eletrointensivas ou energointensivas são utilizados para classificar as organizações que atuam na indústria de cimento, cobre, alumínio, química e petroquímica, ferro-ligas, aço, mineração, papel e celulose, gases do ar, dentre outras comumente classificadas como indústria pesada. Para as demais empresas, o termo mais utilizado é *non-energy intensive industries*. Portanto, o termo “uso não intensivo de energia” geralmente é utilizado para referir empresas classificadas como indústria de uso não intensivo de energia, ou indústria leve.

Nas empresas de uso não intensivo de energia, o custo do consumo de energia não representa a maior parcela dos custos de produção, o que pode ser um fator influenciador para a escassez de estudos e agendas de pesquisa especificamente voltados para a eficiência energética desse tipo de organização. As evidências que comprovam essa escassez de estudos são apresentadas e discutidas no estudo bibliométrico realizado por Fenerich, Costa e Lima (2017).

Entretanto, ao contextualizar a eficiência energética segmentadamente, com destaque para o setor industrial, Thollander e Palm (2015) apresentam informações importantes acerca do potencial e da real utilização de iniciativas para incremento da eficiência energética. Na indústria eletrointensiva existe uma disparidade menor entre o potencial e a real possibilidade de eficiência energética, considerando a tecnologia disponível. Na indústria não intensiva, porém, essa disparidade é maior, fazendo com

que a real utilização de soluções tecnológicas fique distante do potencial tecnológico existente. (BUNSE et al., 2011; CASSETTARI et al., 2017; COOREMANS, 2012; KNOBLOCH; MERCURE, 2016; LUNG et al., 2005; MAY et al., 2015, 2018; NEHLER; RASMUSSEN, 2016; NEVER, 2016; PALM; THOLLANDER, 2010; PARAMONOVA; THOLLANDER, 2016; PERRONI et al., 2017; PUSNIK et al., 2016; SCHULZE et al., 2016). Em outras palavras, há um significativo potencial inexplorado na forma como as tecnologias de eficiência energética são usadas na indústria, principalmente nas não intensivas, o que é denominado na literatura como falta (*gap*) na gestão de energia. (THOLLANDER; PALM, 2015).

Conforme dados apresentados pelo Ministério de Minas e Energia (MME), no Brasil, apenas 408 empresas estão classificadas como eletrointensivas; esse grupo é composto exclusivamente por companhias de grande porte. (BRASIL, 2014). Tal fato permite supor que a indústria não intensiva é composta, principalmente, por empresas de pequeno e médio portes (PME). Nesse sentido, mesmo que o consumo de energia individual das PME não seja elevado, ao considerá-las como um todo, sua demanda atinge um patamar relevante. (HENRIQUES; CATARINO, 2016). Os dados apresentados pela EPE (EPE, 2019a) corroboram essa afirmação (ver Tabela 2). Ao analisá-los, é possível constatar que 35,5% do consumo de energia no setor industrial advêm de empresas de uso não intensivo de energia, o que equivale a 13% do consumo total de energia no Brasil.

De acordo com as estimativas da Agência Internacional de Energia (IEA), as PME consomem mais de 13% da demanda total de energia global e são parte central das economias do mundo, pois representam 99% do total de empresas e oferecem cerca de 60% dos empregos. As medidas de eficiência energética em PME têm potencial para economizar até 524.000 Ttep (Tera Tep), o que representa mais energia do que o Japão e a Coreia consomem juntos por ano. (IEA, 2016).

Ao avaliar o potencial da tecnologia para o incremento de eficiência energética, Thollander e Palm (2015) questionam o paradigma tecnológico e desafiam a perspectiva que considera a tecnologia como o único meio pelo qual a indústria alcança eficiência energética. A tomada de decisões sobre investimentos em eficiência energética não é (ou não deveria ser) um processo linear, já que entram em jogo múltiplos fatores internos (diferentes atores, relações de poder dentro de uma organização, cultura organizacional, estratégia e sistemas de gestão, tecnologias e

infraestrutura) e externos (cultura industrial, demanda, concorrência, legislação e políticas públicas). (PARAMONOVA; THOLLANDER, 2016).

Tabela 2 – Consumo por tipo de indústria no Brasil (GWh)

	2014	2015	2016	2017	2018	Part. % (2018)
BRASIL Industrial	187.881	179.155	163.841	179.566	180.358	100,0%
Diferenças	13.139	13.158	710	14.934	13.028	7,2%
Metalurgia	41.347	36.070	37.660	38.254	38.473	21,3%
Fab. de produtos químicos	18.415	17.832	18.058	17.758	18.718	10,4%
Fab. de produtos de minerais não metálicos	14.655	14.205	12.430	12.109	12.445	6,9%
Extração de minerais metálicos	11.518	13.683	11.680	12.062	12.612	7,0%
Fab. produtos de borracha e material plástico	9.739	9.133	8.709	9.042	9.102	5,0%
Fab. de celulose, papel e produtos de papel	8.521	7.702	8.201	8.403	8.695	4,8%
Extração de minerais não metálicos	3.305	3.243	3.125	3.175	3.218	1,8%
ELETOINTENSIVAS						57,3%
Fab. de produtos alimentícios	20.031	19.793	20.160	20.714	21.626	12,0%
Fab. de veículos, reboques e carrocerias	7.090	6.265	5.988	6.337	6.670	3,7%
Fab. de produtos têxteis	6.887	6.228	6.115	6.374	6.289	3,5%
Fab. de produtos de metal	4.917	4.431	4.159	4.284	4.453	2,5%
Fab. de produtos de madeira	3.681	3.581	3.482	3.597	3.858	2,1%
Fab. de máquinas e equipamentos	3.027	2.614	2.510	2.659	2.728	1,5%
Fab. de bebidas	2.781	2.642	2.572	2.565	2.485	1,4%
Demais Classes	18.828	18.577	18.284	17.299	15.958	8,8%
NÃO INTENSIVAS						35,5%

Fonte: Adaptado de EPE (2019a).

A inserção de fatores não tecnológicos acentua a necessidade de conhecer como as decisões para incremento da eficiência energética, em geral, são tratadas pelas empresas. (COOREMANS, 2012; KNOBLOCH; MERCURE, 2016; THOLLANDER; PALM, 2015). Entretanto, mesmo que todos esses componentes devam ser considerados, o mais importante em termos de melhoria da eficiência energética é tornar a energia uma questão organizacional estratégica. (PARAMONOVA; THOLLANDER, 2016). Nesse sentido, é necessário mudar o foco da tomada de decisões de um processo baseado no pensamento econômico-tecnológico para abordagens mais amplas, também orientadas à compreensão dos decisores. (MAY et al., 2018). Isso significa que devem ser observados os indivíduos e seus pontos de vista sobre as ações de eficiência energética nas organizações. (PARAMONOVA; THOLLANDER, 2016).

O contexto apresentado reafirma a importância de conexão entre indústria e academia no campo de estudo em questão. No entanto, os vínculos entre esses polos são fracos, suscitando obstáculos para a eficiência energética. Dentre eles, destaca-se a dificuldade de mapear as práticas de eficiência energética executadas pela indústria e de analisar a factibilidade das estratégias e dos sistemas de indicadores propostos pela academia. (FENERICH; DA COSTA; DE LIMA, 2017).

Portanto, o presente trabalho situa-se na temática de compreensão da Eficiência Energética em Sistemas Produtivos. A seguir, são apresentados o objeto e o problema de pesquisa desta proposta de tese.

1.1 OBJETO E PROBLEMA DE PESQUISA

É possível evidenciar que a literatura acadêmica reconhece a existência do chamado *gap* de eficiência energética, que está relacionado a não implementação de medidas de gestão de energia e eficiência energética, apesar da boa relação custo-benefício dessas iniciativas. (ALCORTA et al., 2014; BUNSE et al., 2011; FENERICH; DA COSTA; DE LIMA, 2017; FINNERTY et al., 2017; HENRIQUES; CATARINO, 2016; LAWRENCE et al., 2019; LOPES et al., 2018; NERI et al., 2018; ROTZEK; SCOPE; GÜNTHER, 2018; SA; THOLLANDER; RAFIEE, 2018; SUDHAKARAREDDY, 2013; THOLLANDER; PALM, 2015; TRIANNI et al., 2019). Dessa forma, evidências práticas e estudos teóricos sugerem que, embora o setor industrial tenha feito uma melhoria contínua na eficiência energética, ainda resta um amplo potencial a ser explorado. (BUNSE et al., 2011).

Em levantamento realizado com 357 empresas de manufatura de diversos setores em 25 países em desenvolvimento com relação a práticas e investimentos em eficiência energética, constatou-se que mais de 90% dessas companhias usaram regras de retorno simples – *payback* – para avaliar a viabilidade financeira dos projetos de eficiência energética. (ALCORTA et al., 2014). Mesmo que as empresas de uso não intensivo utilizem ferramentas econômicas de análise de investimento em eficiência energética, os investimentos e o planejamento de eficiência energética ainda tendem a serem negligenciados. (FINNERTY et al., 2017).

Nesse sentido, o debate sobre o *gap* de eficiência energética deve (ou deveria) estar centrado nas razões pelas quais investimentos considerados rentáveis para incremento da eficiência energética não são realizados nas empresas. A disparidade

entre o potencial e a implementação de tecnologias de eficiência energética, bem como a escassez de artefatos específicos são as principais limitações apontadas pela literatura. Apesar da existência de trabalhos que clamam por uma ótica integrada e estratégica no tocante à eficiência energética (COOREMANS, 2011, 2012; PATTERSON, 1996), são escassos, na literatura pesquisada, trabalhos que detalhem formas de viabilizar essa integração. Em outras palavras, a literatura tem avançado em relação ao “que fazer”, mas praticamente ignora o “como fazer”.

Portanto, o ponto inicial para definição do problema desta tese emerge a partir de algumas lacunas encontradas na literatura. A primeira se relaciona à forma como o potencial de medidas de eficiência energética é avaliado pelas empresas, especialmente pelas de uso não intensivo de energia. Compreende-se a necessidade de a indústria estabelecer um conjunto de métricas para avaliar os impactos das iniciativas de eficiência energética. Entretanto, as abordagens encontradas na literatura apresentam um cenário em que a maioria das empresas faz uso exclusivo de indicadores financeiros, como *payback* (PB), Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR), para avaliar investimento em eficiência energética (a estratificação dos artefatos encontrados na literatura está detalhada no Quadro 9, na seção 2.4.1). Além disso, mesmo que os resultados desses indicadores apontem atratividade financeira, o nível de adoção de tecnologias em eficiência energética permanece baixo.

Dessa forma, como fazer para reduzir a lacuna de implantação de medidas para incremento de eficiência energética tem sido questão recorrente em estudos mais recentes. O principal modelo usado para explicar essa discrepância é o modelo de barreiras, o qual estabelece que diferentes barreiras à eficiência energética inibem a adoção de medidas economicamente atrativas. (THOLLANDER; PALM, 2015). Barreiras são mecanismos inibidores de uma decisão ou comportamento que parece ser eficiente em termos energéticos e econômicos. Em outras palavras, fatores que interferem para a não adoção de medidas de eficiência energética são referidos como barreiras. (HENRIQUES; CATARINO, 2016). Esses fatores impedem a adoção de tecnologias de eficiência energética, mesmo que tais medidas sejam economicamente rentáveis. (SUDHAKARA REDDY, 2013). Uma série de artigos examinam as barreiras para a implementação de medidas de melhoria da eficiência energética em empresas de diferentes contextos. (HENRIQUES; CATARINO, 2016; KNOBLOCH; MERCURE, 2016; PALM; THOLLANDER, 2010; PARAMONOVA; THOLLANDER, 2016;

PERRONI et al., 2017; RASMUSSEN, 2017; SUDHAKARA REDDY, 2013; THOLLANDER; PALM, 2015; TRIANNI; CAGNO; DE DONATIS, 2014; TRIANNI; CAGNO; NERI, 2017).

Embora as barreiras econômicas possam explicar partes da lacuna, questões comportamentais não devem ser negligenciadas. (KNOBLOCH; MERCURE, 2016). O primeiro argumento utilizado por Knobloch e Mercure (2016), sustentado na teoria proposta por Simon (1955), é o de que as empresas podem não atuar como maximizadoras de lucro, mas, em vez disso, buscar soluções satisfatórias. O segundo argumento apresentado se refere ao fato de que as decisões das empresas são uma combinação de decisões humanas, sujeitas aos mesmos vieses comportamentais. (KNOBLOCH; MERCURE, 2016).

A literatura reconhece o significativo potencial de melhoria da eficiência energética na indústria, especialmente no que diz respeito às PME, mas a implementação de medidas nem sempre é possível, devido a várias barreiras. (HENRIQUES; CATARINO, 2016). Um dos aspectos destacados é a gestão, podendo existir problemas como falta de informação, alto custo de obtenção de informações e imprecisão de informação. (HENRIQUES; CATARINO, 2016). Outras barreiras que dificultam a adoção de medidas de eficiência energética por parte de PME são a falta de tempo e de recursos para explorar opções, bem como a incapacidade interna para desenvolver e implementar projetos de eficiência energética. Além disso, a escassez de informações sobre onde e como a energia é usada nas empresas e a falta de acesso à fonte confiável de informações podem ser obstáculos na identificação de oportunidades. (PARAMONOVA; THOLLANDER, 2016).

De acordo com o Conselho Mundial de Energia (WEC), os gestores das PME estão focados no cotidiano dos seus negócios e na resolução de problemas, tendo pouco tempo para desenvolver experiências para além dos elementos essenciais, ignorando, assim, oportunidades de eficiência energética. (WEC, 2016). A eficiência energética raramente é vista como uma prioridade. (HENRIQUES; CATARINO, 2016). Outro dado importante é que apenas 4% das PME apresentaram uma abordagem abrangente para a eficiência energética. (WEC, 2016).

Não adotar uma tecnologia considerada lucrativa, no entanto, constitui uma lacuna entre a teoria clássica e a realidade. Isso pode ser explicado assumindo-se que os agentes atuam racionalmente, mas não investem em tecnologias aparentemente rentáveis devido a fatores econômicos que são omitidos em estudos

de engenharia – as chamadas barreiras de mercado. (KNOBLOCH; MERCURE, 2016). A maximização da utilidade esperada equivale à hipótese de que o comportamento de escolha satisfaz algumas restrições sob a forma de axiomas. Assim, se esses axiomas são satisfeitos, é possível construir uma função utilidade esperada que represente as preferências de um indivíduo. (CUSINATO, 2003). Nesse sentido, a teoria da utilidade supõe que os indivíduos são maximizadores de prazer ou de felicidade, sendo os melhores juizes de seus próprios atos. Se um indivíduo se defronta com duas opções, por exemplo, A e B, então a teoria afirma que ele escolherá a opção que lhe fornecer mais utilidade, ou seja, a opção que lhe proporciona maior prazer ou felicidade. (CUSINATO, 2003). Porém, não há nenhuma “lei” ou evidência que mostre que isso seja verdadeiro. Na realidade, os indivíduos não têm a capacidade de, frente a qualquer situação, saber qual é o caminho ou a opção que trará maior prazer ou felicidade, o que remete aos estudos de Simon (1955). Isso significa que os agentes violam sistematicamente os axiomas de racionalidade da teoria da utilidade esperada – o que constitui um comportamento irracional de uma perspectiva neoclássica. (KNOBLOCH; MERCURE, 2016).

Os fatores apontados na literatura que podem contribuir para a adoção de práticas de aumento da eficiência energética em sistemas de produção são denominados *drivers*. *Drivers* são fatores promovidos por uma ou mais partes interessadas, estimulando a adoção sustentável de tecnologias, práticas e serviços eficientes em termos de energia. (TRIANNI; CAGNO; NERI, 2017). Os *drivers* podem influenciar parte da organização e do processo de tomada de decisão a superar as barreiras existentes, de modo a proporcionar um aumento da utilização de práticas de eficiência energética. (PERRONI et al., 2017; SUDHAKARA REDDY, 2013; TRIANNI; CAGNO; NERI, 2017).

Os estudos que abordam a influência dos *drivers* são escassos se comparados aos que versam sobre as barreiras. Entretanto, esses fatores não deveriam ser avaliados isoladamente e estaticamente, visto que algumas variáveis podem, ao mesmo tempo, atuar como *drivers* e como barreiras. Além disso, barreiras podem ser consideradas *drivers* em um contexto e barreiras em outro. (SUDHAKARA REDDY, 2013). O modelo de taxonomia para o estudo de barreiras e *drivers* proposto por Perroni et al. (2017) sugere, ainda, a separação das barreiras em fatores externos e internos, tornando a compreensão do comportamento das barreiras e *drivers* complexa, sendo necessário o entendimento do contexto específico de análise desses

fatores. Isso remete à necessidade de compreender como as variáveis (externas e internas) relativas às barreiras e aos *drivers* se inter-relacionam para adoção de medidas de eficiência energética.

De fato, lidar com partes interessadas capazes de promover os *drivers* para a eficiência energética em ambientes industriais torna-se desafiador, pois muitas partes interessadas atuam com medidas de eficiência energética em vários níveis, e cada uma dessas partes influencia diferentemente os *drivers* para eficiência energética. (TRIANNI; CAGNO; NERI, 2017). Por essas razões, a análise dos fatores que influenciam a decisão da empresa de adotar medidas de eficiência energética exige uma abordagem dinâmica, que leve em consideração os interesses e as estratégias das partes interessadas externas, que influenciam fortemente o processo de tomada de decisão. Tal aspecto ainda não foi explorado pela literatura. Os estudos encontrados não apresentam sugestões sobre como abordar dinamicamente essa questão, limitando-se a apresentar um *framework* cujo propósito é descrever a relação entre barreiras e *drivers* no processo de decisão para eficiência energética. (TRIANNI; CAGNO; NERI, 2017). Não foram encontrados estudos que abordem a compreensão sistêmica e dinâmica das variáveis internas e externas no sentido de auxiliar na redução do *gap* de eficiência energética.

Alguns estudos apresentam posicionamentos semelhantes no que diz respeito à mudança na forma de avaliação de investimentos em eficiência energética (APLAK; SOGUT, 2013; BHANOT; RAO; DESHMUKH, 2017; COOREMANS, 2011, 2012; THOLLANDER; PALM, 2015), propondo uma análise estratégica inserida em um paradigma sócio-técnico. Entretanto, a maioria dos estudos encontrados reforça que as técnicas mais utilizadas para avaliar os investimentos em eficiência energética estão baseadas nas abordagens tradicionais de análise de investimento, tais como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback* (PB). (ALCORTA et al., 2014; BUNSE et al., 2011; COOREMANS, 2012; FINNERTY et al., 2017; KARLSSON, 2011; KNOBLOCH; MERCURE, 2016; LANDINI; DE MELLO SANT'ANA, 2017; LUNG et al., 2005; NEHLER; RASMUSSEN, 2016; RASMUSSEN, 2017; TRIANNI; CAGNO; DE DONATIS, 2014). As abordagens tradicionais de análise de investimento consideram atrativas iniciativas cujo retorno/rentabilidade seja superior ao custo do capital. Quando há concorrência entre os investimentos, aquele com maior retorno deve ser escolhido.

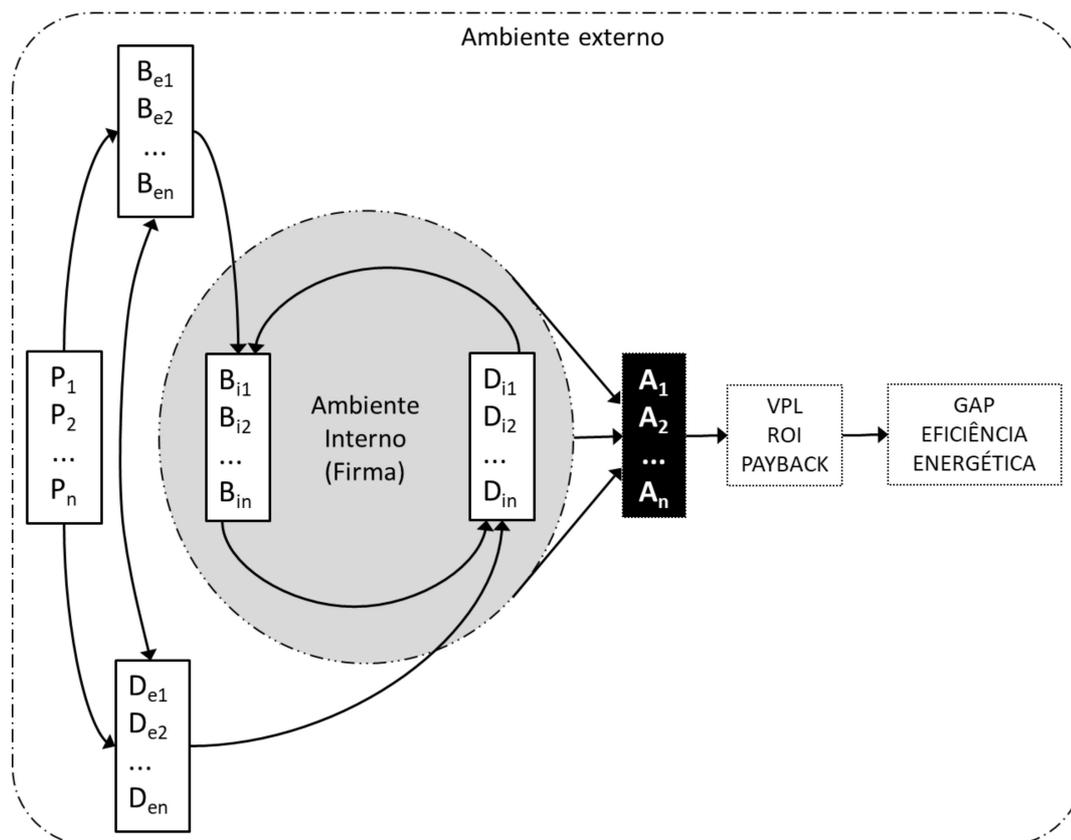
A partir de estudos analisados na Revisão Sistemática da Literatura (RSL), os quais serão detalhados no Capítulo 2, foi identificado o modelo teórico atual. Nesse modelo, representado pela Figura 1, é apresentado, de maneira genérica, um conjunto de barreiras externas (B_{en}) que impedem ou dificultam a adoção de medidas de eficiência energética. Essas barreiras externas surgem ou podem ser potencializadas a partir de um conjunto de partes interessadas (P_n), tais como governo, agências reguladoras, órgãos de financiamento, concorrentes. No ambiente externo, parte-se da premissa de que os *drivers* (D_{en}) são uma resposta às barreiras, exercendo influência sobre elas e sendo influenciados por elas.

A mesma estrutura permite representar o comportamento das barreiras e dos *drivers* internamente. Por exemplo, partes interessadas dentro da empresa podem estabelecer barreiras internas (B_{in}), as quais necessitam de *drivers* internos (D_{in}) para serem transpostas. Dessa forma, pode existir uma influência mútua entre ambos.

O interesse ou a necessidade entre uma ou mais ações (A_n) é resultado da interação mútua entre P_n , B_{en} , D_{en} , B_{in} e D_{in} . Conforme identificado na literatura, as avaliações da decisão de adotar uma Ação de Eficiência Energética (AEE) são realizadas exclusivamente com base em abordagens tradicionais com VPL, ROI e *Payback*, o que vem contribuindo para a não adoção de práticas de eficiência energética pelos consumidores industriais de pequeno porte, aumentando o *gap* de eficiência energética. Essas abordagens tradicionais encontradas na literatura apresentam características que vão de encontro à natureza dinâmica e sistêmica dos elementos apresentados e, por consequência, podem contribuir para o baixo nível de adoção de tecnologias de eficiência energética em empresas de uso não intensivo de energia.

Apesar do contexto, não foram encontrados estudos que tratem a avaliação do impacto e a adoção de tecnologias para eficiência energética, de forma sistêmica, em empresas de uso não intensivo de energia. Tampouco foram mapeadas pesquisas que considerem a natureza dinâmica das relações entre variáveis (internas e externas), barreiras e *drivers*. É possível evidenciar que os estudos que tratam de fatores não financeiros para adoção de medidas de eficiência energética são escassos e estão entre os mais recentes, configurando um novo campo de pesquisa e viabilizando espaço para avanços teóricos.

Figura 1 – Modelo teórico atual a partir da RSL



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Nesse sentido, as principais críticas à forma e profundidade com que o *gap* de eficiência energética vem sendo tratado pela literatura podem ser resumidas em quatro tópicos, conforme apresentado no Quadro 1.

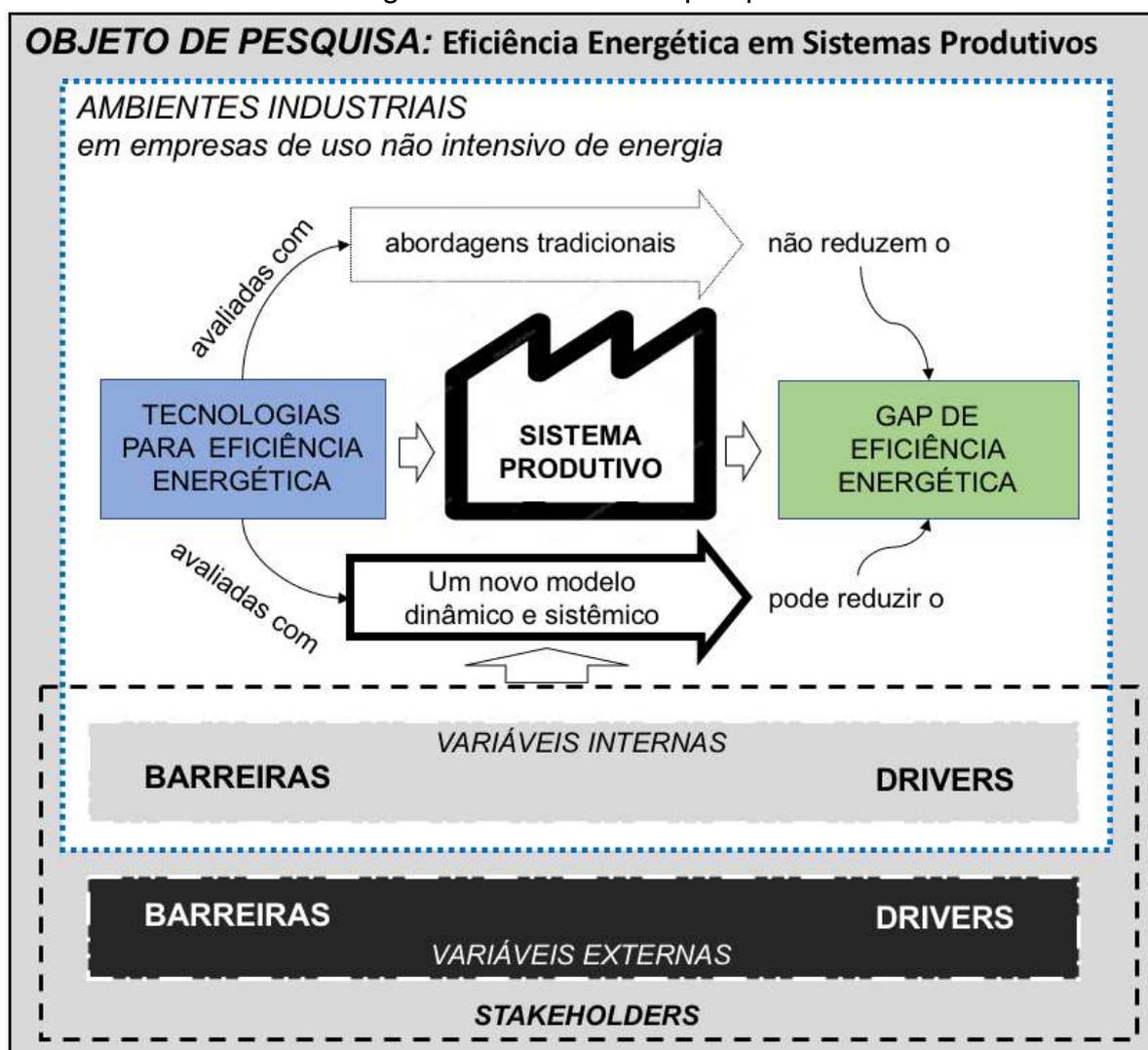
Quadro 1 – Críticas às abordagens atuais

Problemas identificados na literatura	Crítica
Artefatos para avaliação de medidas de eficiência energética.	Apesar de as técnicas atuais para avaliação de investimento em eficiência energética apresentarem atratividade financeira, o nível de adoção de tecnologias em eficiência energética tem sido baixo.
<i>Gap</i> de eficiência energética	Embora a existência do <i>gap</i> de eficiência energética seja tratada na literatura, os estudos não avançam sobre <i>como</i> fazer para reduzir o <i>gap</i> com implantação de medidas para incremento de eficiência energética.
Inter-relação entre variáveis (externas e internas)	A inter-relação entre as variáveis (externas e internas) relativas às barreiras e aos <i>drivers</i> para adoção de medidas de eficiência energética não é abordada pela literatura.
Compreensão dinâmica e sistêmica das variáveis	A compreensão (sistêmica e dinâmica) das variáveis não foi citada pela literatura, apesar de autores destacarem a importância de se ter uma visão holística sobre o problema.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A Figura 2 sintetiza o desenho desta pesquisa, que tem como objeto a tomada de decisões para incremento da eficiência energética em ambientes industriais de empresas de uso não intensivo de energia. Busca-se avaliar se a visualização sistêmica (e dinâmica) dos impactos financeiros e não financeiros relativos às decisões para incremento da eficiência energética em ambientes industriais pode auxiliá-la na adoção de inovações tecnológicas. Dessa forma, compreender as relações sistêmicas e dinâmicas que existem entre as variáveis (financeiras e não financeiras) e os impactos dessas variáveis nas decisões relacionadas à eficiência energética em ambientes industriais é essencial para propor uma nova abordagem de avaliação.

Figura 2 – Desenho de pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Nesse sentido, o conjunto de críticas apontadas no Quadro 1, bem como o contexto apresentado, remetem à questão central desta pesquisa:

Como estimar o potencial impacto financeiro de ações de eficiência energética e microgeração distribuída de unidades consumidoras industriais de uso não intensivo de energia considerando a natureza dinâmica e sistêmica do ambiente macroenergético?

Os conceitos e as características das barreiras para implementação de medidas de incremento de eficiência energética e dos *drivers*, e a possível relação entre ambos, bem como os elementos que dizem respeito à escassez de estudos referentes à temática, principalmente quando se insere o contexto sistêmico e dinâmico, são aspectos apresentados detalhadamente no Capítulo 2. Desse modo, com o propósito de abordar as questões previamente apresentadas e de responder à questão central desta pesquisa, a seção a seguir detalha os objetivos geral e específicos do estudo proposto.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é propor um modelo de avaliação do potencial impacto financeiro de ações de eficiência energética e microgeração distribuída (MGD) em unidades consumidoras industriais de uso não intensivo de energia.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral proposto, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- a) Identificar um conjunto de variáveis internas e externas, bem como barreiras e *drivers* que representem o contexto de adoção de ações de eficiência energética e microgeração distribuída em unidades consumidoras industriais de uso não intensivo de energia;
- b) Desenvolver um modelo de dinâmica de sistemas para avaliar o impacto das decisões relacionadas à eficiência energética e à microgeração distribuída em unidades consumidoras industriais de uso não intensivo de energia;

- c) Analisar o modelo no contexto da aplicação prática, discutindo seus resultados e identificando falhas e oportunidades de melhorias.

As contribuições teóricas e práticas esperadas com o desenvolvimento do presente estudo, que se constituem em elementos que justificam a realização da pesquisa, são descritas a seguir.

1.3 JUSTIFICATIVA

Um problema prático tem origem na realidade e apresenta um custo geralmente evidente. Um problema de pesquisa origina-se na mente, a partir de um conhecimento incompleto ou de uma falha na compreensão de algo. (BOOTH; COLOMB; WILLIAMS, 2005). Embora ambos tenham a mesma estrutura, diferem em dois pontos importantes. Enquanto a condição de um problema prático poder ser qualquer situação, a de um problema de pesquisa é definida por uma série reduzida de conceitos. É, de acordo com Booth, Colomb e Williams (2005), uma versão do *não saber* ou *não compreender* algo. A segunda diferença (e de entendimento mais difícil) é o custo. O custo de um problema de pesquisa não respondido é a ignorância ou a incompreensão, que são elementos mais significativos e mais consequentes do que a ignorância ou a incompreensão que definiram a condição. (BOOTH; COLOMB; WILLIAMS, 2005). A ideia de custo é mais fácil de entender a partir de um problema prático, porque os custos são mais palpáveis.

Esta seção visa a mapear elementos que justifiquem a realização deste projeto de tese. As justificativas são elaboradas com base nas condições (o que não se sabe ou não se compreende) e nos custos (de não saber ou não resolver). Dessa forma, a relevância desta tese é apresentada nos contextos acadêmico e empresarial.

1.3.1 Contexto acadêmico

Em uma pesquisa, é fundamental estar suficientemente informado sobre o que foi pesquisado, como foi pesquisado e sobre os resultados encontrados (MORANDI; CAMARGO, 2015), com o objetivo de descobrir o que não se sabe ou não se compreende. (BOOTH; COLOMB; WILLIAMS, 2005). Nesse sentido, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), conforme proposto por Morandi e Camargo,

(2015). Inicialmente, foram definidos a questão de revisão e o *framework* conceitual, com o objetivo de compreender como os impactos das decisões e tecnologias para incremento da eficiência energética são avaliados em ambientes industriais. Dessa maneira, buscou-se identificar quais ferramentas de apoio à tomada de decisão, incluindo quaisquer modelos, métodos, técnicas e/ou abordagens estruturadas e sistematizadas estão sendo utilizados para apoiar o processo decisório em empresas do segmento industrial, empresas de manufatura, sistemas produtivos e sistema de manufatura, no contexto de eficiência energética.

A questão central de revisão foi assim definida: como avaliar os impactos de decisões e tecnologias para incremento da eficiência energética em ambientes industriais? Para operacionalizar a busca, foram determinados termos que auxiliassem a localizar estudos relacionados ao processo de decisão sobre eficiência energética em sistemas de produção. Esses termos podem ser visualizados no Quadro 2:

Quadro 2 – Termos de Busca

#	TERMO 1	TERMO 2	TERMO 3
P01	Energy efficiency	Decision support	Manufacturing OR Industr*
P02	Energy efficiency	Decision-making	Manufacturing OR Industr*
P03	Energy efficiency	Economic evaluation	Manufacturing OR Industr*
P04	Energy efficiency	Impact assessment	Manufacturing OR Industr*
P05	Energy efficiency	Strategic decision	Manufacturing OR Industr*
P06	Energy Management	Decision support	Manufacturing OR Industr*
P07	Energy Management	Decision-making	Manufacturing OR Industr*
P08	Energy Management	Economic evaluation	Manufacturing OR Industr*
P09	Energy Management	Impact assessment	Manufacturing OR Industr*
P10	Energy Management	Strategic decision	Manufacturing OR Industr*
P11	Industrial energy efficiency	Decision support	-
P12	Industrial energy efficiency	Decision-making	-
P13	Industrial energy efficiency	Evaluation	-
P14	Industrial energy efficiency	Assessment	-
P15	Industrial energy efficiency	Strateg*	-
P16	Industrial energy management	Decision support	-
P17	Industrial energy management	Decision-making	-
P18	Industrial energy management	Evaluation	-
P19	Industrial energy management	Assessment	-
P20	Industrial energy management	Strateg*	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

As fontes de busca utilizadas foram as bases *ProQuest-Technology Collection* (PrQ), *Scopus-Elsevier* (Sco), *Science Direct-Elsevier* (SDi) e *Web of Science* -

Coleção Principal (WoS), que são as principais bases de dados para pesquisas na área de gestão (MORANDI; CAMARGO, 2015), e a base *IEEE Xplore Digital Library*, reconhecida por disponibilizar literatura técnica no campo de pesquisa de engenharia e tecnologia. A pesquisa com as expressões de busca ocorreu nos campos Título, Resumo e Palavras-chave, almejando garantir ampla abrangência. Utilizou-se como horizonte artigos publicados a partir de 1973, ano marco em virtude da crise do petróleo. O protocolo de pesquisa utilizado na RSL encontra-se no Apêndice A. Os números totais de registros encontrados a partir das buscas nas bases citadas são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Registros encontrados na RSL

#	<i>PrQ</i>	<i>Sco</i>	<i>SDi</i>	<i>WoS</i>	<i>IEx</i>	<i>Artigos</i>
P01	31	175	33	91	10	340
P02	78	690	99	321	16	1.204
P03	13	101	21	45	0	180
P04	13	170	23	52	1	259
P05	1	19	4	9	0	33
P06	5	93	15	26	9	148
P07	26	309	28	86	30	479
P08	4	37	2	6	0	49
P09	2	54	0	4	0	60
P10	0	9	2	3	0	14
P11	1	4	2	3	0	10
P12	4	33	9	25	1	72
P13	9	36	13	23	1	82
P14	9	50	22	34	0	115
P15	14	58	16	43	0	131
P16	0	1	0	0	1	2
P17	1	7	1	5	1	15
P18	0	4	3	2	0	9
P19	1	11	2	2	0	16
P20	3	27	6	11	0	47
Total						3.265

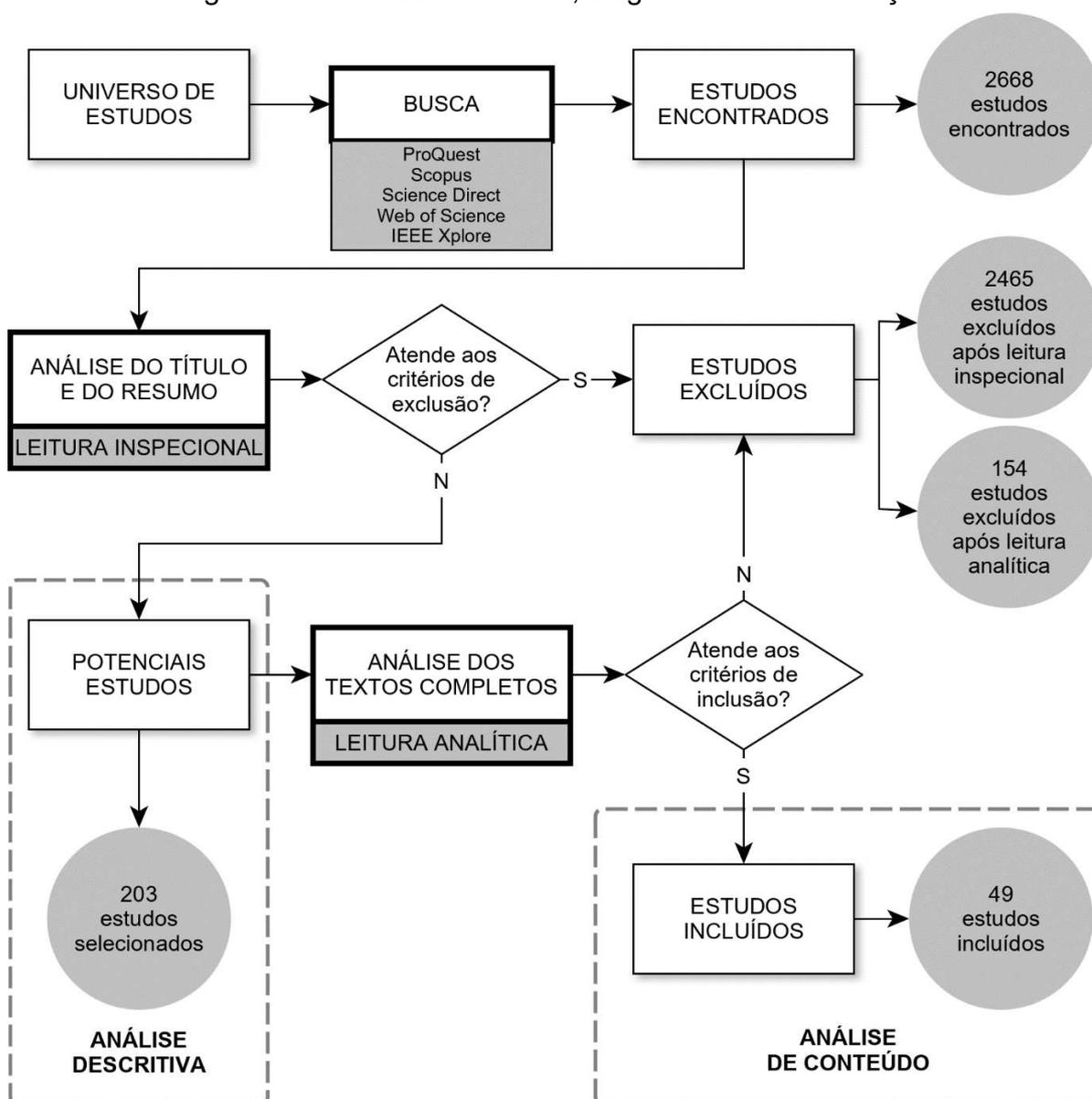
Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Para finalizar a etapa de busca, realizou-se uma limpeza na base de dados para remover todos os registros duplicados. Ao final desse processo, restaram 2.668 artigos, perfazendo o total de estudos encontrados para dar início à etapa de elegibilidade. A Figura 3 apresenta a visão geral do processo de busca, elegibilidade e codificação utilizado na RSL.

Os títulos e resumos dos estudos encontrados foram avaliados usando o nível de leitura inspeccional. Os critérios de exclusão considerados nessa etapa foram: (i)

trabalhos que não apresentam artefatos relacionados à avaliação e/ou tomada de decisão; (ii) pesquisas sobre eficiência energética de motores, turbinas e afins e eficiência energética predial; (iii) estudos sobre eficiência energética relacionada ao uso de veículos elétricos; (iv) trabalhos sobre eficiência energética chips, memórias e afins; (vi) pesquisas sobre eficiência energética mecânica e termodinâmica; (vii) estudos específicos da indústria eletrointensiva.

Figura 3 – Processo de busca, elegibilidade e codificação



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Ao todo, 2.465 estudos atenderam aos critérios de exclusão, restando 203 potenciais pesquisas para se executar a leitura analítica do texto completo. Nessa etapa da elegibilidade, foram considerados como critérios de inclusão os estudos que

contemplassem: (i) aplicação em ambientes industriais; (ii) uso de modelagem; (iii) uso, métodos, técnicas e/ou abordagens estruturadas e sistematizadas; (iv) estratégias, indicadores e/ou práticas relacionadas à eficiência energética. Ao final da leitura analítica dos textos completos, 49 artigos foram selecionados para inclusão no trabalho. As análises descritivas e de conteúdo estão detalhadas e são exploradas no Capítulo 2.

O campo de estudos da eficiência energética não é uma área nova. Entretanto, percebe-se que o foco das pesquisas sofreu alterações, passando da conservação de energia para a eficiência energética, desta para o impacto do uso de energia na sustentabilidade e, atualmente, vem concentrando esforços na gestão de energia em ambientes industriais. Os termos eficiência energética e conservação de energia têm significados distintos. A eficiência energética está relacionada ao uso de tecnologia no sentido de reduzir o uso de energia para desempenhar uma função. A conservação de energia é qualquer comportamento que resulte no uso de menos energia. (EIA, 2019). A conservação de energia envolve usar menos energia, ajustando comportamentos e hábitos. A eficiência energética, por outro lado, envolve o uso de tecnologia que demanda menos energia para executar uma função.

Embora a literatura mencione que a eficiência energética pode influenciar positivamente o desempenho da indústria (ADANE; NICOLESCU, 2015; BHANOT; RAO; DESHMUKH, 2017; BUNSE et al., 2011; COOREMANS, 2011; KNOBLOCH; MERCURE, 2016; MAY et al., 2015; THOLLANDER; PALM, 2015), contribuindo para aumentar a competitividade, a pesquisa sobre a avaliação de tais benefícios é escassa. (FENERICH; DA COSTA; DE LIMA, 2017; RASMUSSEN, 2017). Além disso, a maioria dos estudos encontrados se relaciona à eficiência energética predial. Em se tratando de ambientes industriais, estudos de eficiência termodinâmica e mecânica em empresas eletrointensivas têm recebido maior atenção da academia. Entretanto, o contexto dessas organizações difere significativamente das empresas de uso não intensivo de energia, o que praticamente impossibilita qualquer tipo de generalização ou adoção das práticas no contexto das PME. Nenhum estudo que aborda essa comparação foi encontrado.

Um aspecto pouco explorado é o processo de tomada de decisão para adoção de medidas de eficiência energética em empresas de uso não intensivo de energia. A literatura compreende o potencial do uso de eficiência energética por tais empresas e reconhece que há disparidade entre o potencial de medidas e o efetivamente adotado,

sendo que alguns trabalhos destacam a necessidade de explorar essa lacuna de eficiência energética. Entretanto, não foram encontradas pesquisas que avaliem os fatores envolvidos por meio de uma abordagem holística. Em outras palavras, os poucos estudos existentes sobre eficiência energética em empresas de uso não intensivo de energia tratam a questão com viés de segmentação e isolamento.

Outro ponto importante a destacar é a escassez de estudos no contexto brasileiro. Foram encontrados apenas dois artigos empíricos (LANDINI; DE MELLO SANT'ANA, 2017; ZANARDO et al., 2018) e um artigo teórico (FENERICH; DA COSTA; DE LIMA, 2017) dentre os 203 estudos selecionados.

Entretanto, o maior desafio (ainda não alcançado) é utilizar o conhecimento para avaliação holística e implementação conjunta dos diferentes conceitos propostos, considerando a inter-relação existente entre os elementos, com o objetivo de alcançar um desempenho ótimo global. (MAY et al., 2018). Nesse sentido, a compreensão do processo de decisão relativo à adoção de tecnologias para incremento de eficiência energética em empresas de uso não intensivo de energia, especialmente no contexto brasileiro, é necessária. É possível evidenciar, por meio dos estudos encontrados, a limitação das abordagens tradicionais (VPL, TIR e *payback*) para avaliar a adoção dessas tecnologias, principalmente por não incorporarem fatores que ultrapassem os técnicos e financeiros.

Entende-se que o desenvolvimento de um modelo de avaliação que supere as limitações dos modelos atuais possa contribuir tanto para o avanço da pesquisa quanto para a aplicação prática, facilitando o processo de tomada de decisão das organizações. Após o posicionamento em relação à relevância acadêmica, aspectos importantes sob o ponto de vista empresarial são explicitados, de maneira a justificar a relevância desta pesquisa para o contexto industrial.

1.3.2 Contexto empresarial

A transição global para um modelo energético eficiente é irreversível. (SA; THOLLANDER; RAFIEE, 2018). Ao assumir objetivos ambiciosos no que concerne ao clima e à energia, a União Europeia pretende não se adaptar, mas liderar essa transição, mantendo uma economia competitiva na Europa para garantir emprego e crescimento para a sociedade. (DELBEKE; VIS, 2015). Na visão dos países que

compõem o bloco, o caminho para a sustentabilidade no setor energético pode ser alcançado por meio de três medidas (DELBEKE; VIS, 2015):

- (i) Eficiência Energética;
- (ii) Aumento da participação de fontes renováveis na matriz energética;
- (iii) Uso eficiente dos recursos renováveis e não renováveis na produção e no consumo de energia (maior eficiência na organização das cadeias produtivas, reuso e reciclagem de materiais, dentre outras ações).

Para iniciar esse processo, os líderes de Estado da União Europeia lançaram o *EU Climate and Energy Package*, que apresenta um pacote de metas conhecido como 20-20-20, no qual são colocados os seguintes alvos a serem alcançados até o ano de 2020 (DELBEKE; VIS, 2015):

- reduzir em pelo menos 20% a emissão de gases de efeito estufa (GEE) em relação aos níveis de 1990;
- ter 20% da energia consumida proveniente de fontes renováveis de energia;
- reduzir em 20% o uso de energia primária em relação aos níveis projetados, meta a ser alcançada com medidas de eficiência energética.

A meta de redução do uso de energia a ser atingida por iniciativas de eficiência energética foi atualizada para 30%, para ser alcançada em 2020. (QUERALT; JOSEPH, 2016). Em busca desses objetivos, como parte do Plano de Investimento para a Europa, a maioria dos projetos de energia aprovados pelo Fundo Europeu de Investimentos Estratégicos (EFSI) diz respeito à eficiência energética e ao setor de energia renovável. (QUERALT; JOSEPH, 2016). Entre 2014 e 2020, serão investidos cerca de € 27 bilhões em eficiência energética com recursos de fundos públicos e privados da Europa, priorizando edifícios públicos e residenciais e PME. Esse valor é três vezes maior do que o investido entre 2007 e 2013. (QUERALT; JOSEPH, 2016).

A eficiência energética é vista também como crescente oportunidade de negócio, e as empresas europeias estão particularmente bem colocadas para explorar esse nicho (QUERALT; JOSEPH, 2016), uma vez que o setor tem potencial inexplorado, além de se tratar de uma área em que as empresas da UE têm vantagens competitivas e soluções inovadoras para oferecer. Esse mercado poderia adicionar mais de € 55 bilhões em receitas anuais para as empresas europeias até 2020.

A eficiência energética é considerada um fator significativo para a competitividade da indústria europeia, podendo criar, até 2030, um mercado de renovação de instalações para PME com um valor entre € 80 bilhões e € 120 bilhões. O trabalho de eficiência energética adicional (isolamento de telhado, substituição de janelas, atualização do sistema de construção, etc.) no setor de construção é estimado em aproximadamente € 47,6 bilhões. A Comissão Europeia foi enfática ao afirmar que uma maior eficiência energética ajudará as empresas europeias a melhorar sua competitividade, reduzindo custos. (QUERALT; JOSEPH, 2016).

No Brasil, de 2008 até junho de 2016, a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) contabilizou 1.704 projetos de eficiência energética apresentados por concessionárias de energia, perfazendo um total R\$ 5 bilhões em investimentos e gerando uma expectativa de economia de 4.629 *Gigawatt-hora* (GWh) ao longo dos anos. Esses projetos envolvem iniciativas relacionadas à substituição de equipamentos, como: chuveiro elétrico (por aquecimento solar); lâmpadas incandescentes e refrigeradores antigos de unidades consumidoras de baixa renda e de motores em indústrias; implantação de sistemas de iluminação em túneis e semáforos; estrutura de gestão energética municipal em prefeituras; plantas de cogeração, e outras ações de conservação de energia. (ANEEL, 2016a).

O potencial de economia por meio de eficiência energética pode superar R\$ 20 bilhões/ano no Brasil, segundo cálculo da Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ABESCO). (ABESCO, 2017). Para ilustrar esse potencial, a economia equivaleria a, aproximadamente, 50% de toda a produção de Itaipu em 2018. A Usina de Itaipu é considerada a maior geradora de energia limpa e renovável do planeta e, em 2018, produziu 96.586 GWh de energia em um único ano calendário, sua quarta melhor marca histórica. (ITAIPU, 2019).

Com isso, apresenta-se o conjunto de razões que sustenta a realização desta pesquisa na perspectiva empresarial. Muitos países estão enfrentando dificuldades para suprir a demanda crescente de energia de suas populações e, ao mesmo tempo, fornecer recursos energéticos que supram o crescimento econômico. (ALTOÉ et al., 2017). Nesse sentido, este trabalho pode contribuir para promover o uso eficiente de energia, de modo a garantir o suprimento energético em um contexto de alta demanda. Por sua vez, o cenário de alta demanda deriva principalmente de dois aspectos. O primeiro é o elevado crescimento populacional. O segundo se refere à alteração de consumo em todos os segmentos, em virtude do alto nível de dependência de

aparelhos e dispositivos eletrônicos de modo geral, e da inevitável mudança de mão de obra para fábricas automatizadas, como proposto pelo novo conceito de Indústria 4.0, elevando a importância da eficiência energética no contexto global.

Outro aspecto a ser considerado é a necessidade de se ampliar a competitividade e a eficiência da indústria nacional. Um ranking que mede o custo da energia para a indústria mostra que o preço desse insumo no Brasil é de R\$ 402,26 por *Megawatt-hora* (MWh). O valor é 46% superior à média internacional, que é de R\$ 275,74 por MWh. (FIRJAN, 2017). Embora as políticas nacionais para aumentar a geração de energia por fontes renováveis e a oferta interna de petróleo tenham se mostrado bem-sucedidas, as políticas nacionais para promover o uso de medidas de eficiência energética, por sua vez, não obtiveram sucesso. (ALTOÉ et al., 2017). Esse aspecto é um desdobramento natural do item anterior. Mediante esse cenário, este estudo pretende contribuir para fomentar a competitividade da indústria brasileira, em específico para empresas de uso não intensivo de energia, na medida em que se propõe construir um modelo que permita reduzir o *gap* a partir da adoção de medidas de eficiência energética.

A competitividade da indústria nacional tem significativa correlação com a qualidade e o custo dos principais insumos. Dentre eles, destaca-se a energia elétrica, principal fonte energética para 79% das empresas, insumo que pode representar mais de 40% dos custos de produção. (FIRJAN, 2017). Entretanto, para empresas de uso não intensivo de energia, a representatividade dos custos de energia não é tão relevante se comparada aos custos das eletrointensivas. Por esse motivo, as principais ferramentas de gestão e de apoio para tomada de decisão estão relacionadas a questões específicas de sistemas produtivos, estratégias de produção e operações. Entretanto, ao se avaliar a indústria não intensiva como um todo, a eficiência energética e as ferramentas de avaliação específicas para tal passam a assumir um papel relevante.

Assim, pretende-se contribuir com o campo empresarial ao desenvolver e fornecer artefatos que possam auxiliar os gestores no processo de tomada de decisão relativo à eficiência energética em ambientes industriais, permitindo ampliar a capacidade de avaliação e de análise das tecnologias para eficiência energética.

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Este projeto tem foco na avaliação e no modelo de apoio à decisão, relacionando esses aspectos à adoção de tecnologias de eficiência energética e microgeração distribuída em ambientes industriais de empresas de uso não intensivo de energia. Para tanto, são pressupostos para a tese: (i) a existência de tecnologias para incremento de eficiência energética acessíveis ao segmento industrial em questão; e (ii) um ambiente em que haja a possibilidade de aplicar essas tecnologias. Em face desses pressupostos, o presente estudo não contempla o processo de desenvolvimento de tecnologias e tampouco a avaliação específica de uma tecnologia.

Este trabalho visa a contribuir para a formação de uma ou mais regras tecnológicas relativas ao problema abordado, as quais podem servir de base para pesquisas similares. No entanto, sob o ponto de vista da aplicação relatada, o objeto de estudo se restringe a empresas de uso não intensivo de energia. Por isso, as conclusões do trabalho não devem ser generalizadas a outros contextos sem a devida adaptação, ainda que o conhecimento gerado possa auxiliar estudos de concepção de modelos para avaliação de decisões de uso de eficiência energética em outros segmentos ou setores.

Os resultados que diferentes abordagens trariam para a solução do problema proposto não são discutidos neste estudo, com exceção dos itens propostos para compor o modelo. Dessa forma, abordagens que remetem a temas como análise organizacional, cultura organizacional, aprendizagem organizacional e mudança organizacional não são discutidas, e tampouco são tratadas as mudanças de comportamento dos profissionais envolvidos nas modificações realizadas no processo de avaliação das tecnologias estudadas.

Por fim, esta pesquisa abrange, de maneira geral, empresas do segmento industrial que apresentam como característica de seus sistemas produtivos o uso não intensivo de energia. Dessa forma, estão fora do escopo da pesquisa a avaliação do modelo de empresas classificadas como eletrointensivas, atuantes na indústria de cimento, cobre, alumínio, química e petroquímica, ferro-ligas, aço, mineração, papel e celulose, gases do ar, dentre outras.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente tese é composta por 7 capítulos. O Capítulo 1 apresenta as considerações iniciais, a contextualização do problema e uma visão geral das publicações encontradas. O Capítulo 2 evidencia o estado da arte da eficiência energética em ambientes industriais, bem como conceitua os elementos e artefatos relacionados ao processo de decisão sobre a adoção de medidas de eficiência energética. Ao final do Capítulo 2, são apresentados uma síntese do referencial, as lacunas de pesquisa identificadas e o modelo teórico que servirá de base para a proposta.

O Capítulo 3 apresenta os procedimentos metodológicos utilizados para a condução do trabalho, bem como as etapas que devem ser realizadas para concluir a pesquisa. A elaboração do Modelo desta tese é contextualizada no Capítulo 4, onde são desenvolvidos os diagramas de enlace causal, os diagramas de estoque e fluxo e o Modelo final. Nesse capítulo, são explicitados a sugestão de instanciação do modelo e o novo modelo teórico proposto nesta tese.

As análises de estimativas do potencial impacto financeiro são apresentadas no Capítulo 5. Na mesma seção, são realizadas as análises descritivas das variáveis de resposta e a análise comparativa das variáveis de resposta das firmas estudadas.

A discussão dos resultados é realizada no Capítulo 6. Nesse momento, são apresentados os avanços alcançados com o modelo proposto, as contribuições gerenciais e as contribuições acadêmicas. No Capítulo 7, são retomados os objetivos da pesquisa em conjunto com a síntese dos resultados. Por fim, são elaboradas sugestões de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os principais conceitos relacionados ao trabalho, sendo que estes foram identificados por meio de Revisão Sistemática de Literatura (RSL) e serviram de subsídios para estruturar a proposta de pesquisa. O referencial teórico foi elaborado com as seguintes seções: (i) conceito de eficiência energética; (ii) eficiência energética em sistemas de produção; (iii) processo de decisão em eficiência energética; (iv) modelo teórico da proposta de tese; e (v) modelagem de dinâmica de sistemas.

A primeira seção tem como objetivo apresentar os conceitos básicos associados à eficiência energética de forma geral. A segunda seção apresenta o estado da arte da eficiência energética em ambientes industriais, a partir de uma análise descritiva e de conteúdo. A seção de análise descritiva tem como objetivo apresentar a evolução da pesquisa de eficiência energética em sistemas de produção. A seção de análise de conteúdo subdivide-se em: (i) conceito de eficiência energética em sistemas de produção; (ii) estratégias; (iii) práticas; e (iv) indicadores.

Os elementos do processo de decisão relativos à adoção de tecnologias para eficiência energética em sistemas produtivos são apresentados na terceira seção, juntamente com o conceito de barreiras e de *drivers* e com os principais artefatos identificados na RSL. Uma síntese do referencial, as lacunas de pesquisa e o modelo teórico desta proposta de tese são apresentados em conjunto na quarta seção do capítulo.

2.1 O CONCEITO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

As políticas econômicas praticadas no mundo objetivam cada vez mais o desenvolvimento sustentável, visando a atender as necessidades da geração atual sem comprometer as demandas das futuras gerações. (NASCIMENTO, 2015). Dentre outros fatores, o desenvolvimento sustentável pressupõe, necessariamente, o uso eficiente dos recursos energéticos disponíveis, a chamada eficiência energética. (NASCIMENTO, 2015).

A eficiência energética visa a otimizar a utilização da energia por meio de orientações, direcionamentos, ações e controle dos recursos humanos, materiais e econômicos, reduzindo os índices globais e específicos da quantidade de energia

necessária para a obtenção de um resultado ou produto. (CAPELLI, 2013). Eficiência energética é, outrossim, uma atividade que busca melhorar o uso das fontes de energia; consiste em usar de modo eficiente a energia a fim de se obter um determinado resultado. Por definição, a eficiência energética advém da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e a energia disponibilizada para realizar tal atividade. (ABESCO, 2017).

Durante o consumo da energia pelo usuário final, a eficiência energética é frequentemente tratada como o uso racional da energia. De certa forma, isso pressupõe a adoção de medidas que permitam uma melhor utilização da energia, tanto no setor doméstico como nos setores de serviços e indústria. (NASCIMENTO, 2015). Em outras palavras, ações de eficiência energética equivalem à implantação de medidas que culminam na redução da energia necessária para atender determinadas demandas por energia. Usando uma definição mais ampla, eficiência energética corresponde a atender às necessidades da economia com menor uso de energia e com menor impacto ao meio ambiente. (NASCIMENTO, 2015).

Os projetos de eficiência energética são aqueles que resultam em economia e benefícios diretos para o consumidor final, com ações de combate ao desperdício de energia elétrica e modernização de instalações e processos. (CAPELLI, 2013). Essas ações, por sua vez, podem pressupor modificações ou aperfeiçoamentos tecnológicos ao longo de todo o processo de produção, distribuição e utilização da energia, podendo também resultar de uma melhor organização, conservação e gestão energética (NASCIMENTO, 2015), aproximando o conceito de eficiência energética ao campo da gestão de energia. (BUNSE et al., 2011).

Gestão de energia na produção pode ser conceituado como todas as atividades de controle, monitoramento e melhoria de eficiência energética. (BUNSE et al., 2011). Antunes, Carreira e Silva (2014) reforçam tal definição e destacam que há uma aproximação entre o conceito de eficiência energética e o de gestão de energia. A eficiência energética pode ser melhorada por meio de investimentos em tecnologias de energia e pela promoção de práticas de gestão de energia. (PERRONI et al., 2017).

Entretanto, embora a gestão de energia compartilhe algumas práticas comuns da literatura, ainda existe uma ampla diversidade de práticas, sendo que algumas atividades são negligenciadas enquanto outras são mais comuns. (PERRONI et al., 2017). Como exemplo, pode-se citar o fato de que as soluções existentes para medição, análise e controle de energia não abordam todos os requisitos de gestão de

energia da organização porque a força de trabalho não é adequadamente conscientizada sobre a energia utilizada nos negócios. (PERRONI et al., 2017).

Para elaborar iniciativas que maximizem a eficiência energética, é preciso compreender a definição de alguns conceitos fundamentais. O consumo é a energia gasta durante o tempo de utilização. A equação fundamental do consumo é:

$$\text{Consumo} = \text{potência (Watt)} \times \text{tempo(horas)} \quad (1)$$

A demanda é a medida das potências instantâneas solicitadas à concessionária de energia pelo consumidor e integradas em determinado intervalo de tempo, que se chama intervalo de integração. O intervalo de integração, no Brasil, é de 15 minutos. O conceito de demanda somente tem sentido quando relacionado à duração (término) do intervalo de integração. (CAPELLI, 2013). Assim, demanda é diferente de consumo. A demanda é um dos parâmetros da conta de energia elétrica, e não toda ela. Por essa razão, a demanda é medida em [W] e o consumo em [Wh]. Em uma analogia com a cinemática (mecânica do movimento), é como se o consumo fosse o espaço percorrido e a demanda a velocidade média a cada 15 minutos. (CAPELLI, 2013).

A relação entre demanda e consumo, que é chamada como fator de carga, pode ser utilizada como um índice que permite verificar a quantidade de energia elétrica que se utiliza de forma racional. O fator de carga varia entre 0 e 1 e pode ser expresso pela seguinte equação:

$$\text{Fator de carga} = \frac{\text{Consumo (KWh)}}{\text{Demanda (KW)} \times 730h} \quad (2)$$

O valor de 730h no denominador representa o número de horas médio em um mês genérico do ano (365 dias/12 meses x 24 horas). De maneira geral, quanto mais próximo de um, melhor é a eficiência energética do sistema. (CAPELLI, 2013).

Ainda que apresentadas genericamente, essas definições permitem uma compreensão geral sobre eficiência energética. Entretanto, ao tratar do tema em ambientes industriais, é necessário definir o conceito de eficiência energética no contexto específico de sistemas de produção.

2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO

A partir da RSL, foram pré-selecionados para leitura analítica 203 estudos que compõem o conjunto de trabalhos considerados na análise descritiva. Desse conjunto, foram selecionados 49 estudos com base nos critérios de inclusão, os quais foram utilizados para a realização da análise de conteúdo. O resultado de ambas as análises será descrito a seguir.

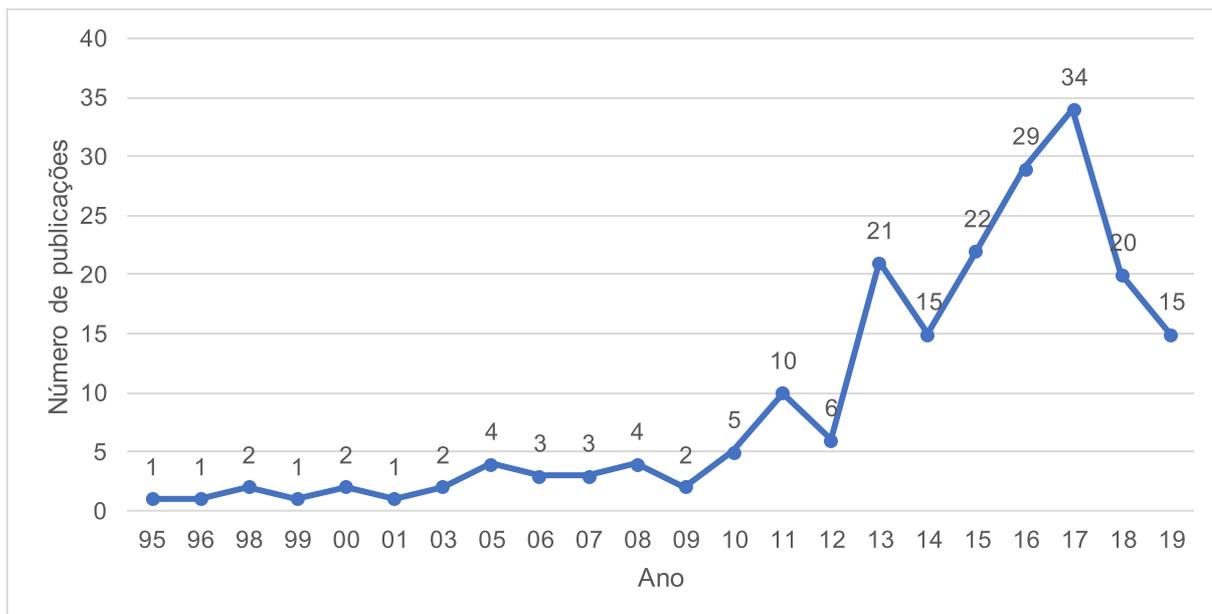
2.2.1 Análise descritiva

Conforme descrito anteriormente, a partir da pré-seleção de artigos, 203 estudos foram averiguados com ênfase na evolução temporal de publicações, no número de publicações nos principais periódicos, na análise de coautoria e na análise de redes de palavras. Para analisar a evolução temporal, foi considerado o período entre 1995 e 2019, respectivamente os anos do estudo mais antigo e do mais recente.

A evolução do número de publicações por ano pode ser observada no Gráfico 2. É possível destacar dois períodos bem distintos em relação à quantidade de publicações. O primeiro, entre 1995 e 2007, apresenta um pequeno e estável número de publicações. Nesse período, a quantidade de publicações anuais variou entre zero e três. Apesar de não ser possível afirmar que existe alguma relação, a partir de 2007-2008, quando desencadeou uma das maiores crises econômicas de abrangência internacional, o número de publicações anuais passou a crescer elevadamente, oscilando de 3 para 34 publicações anuais em 2017. Nos primeiros 3 meses de 2019, o número de publicações chegou a 15, permitindo projetar um total de 60 no ano caso se mantenha a frequência de publicações sobre o tema.

Dois eventos importantes no cenário energético ocorreram nesse período. No dia 2 de janeiro de 2008, o preço do barril do petróleo chegou aos US\$ 100 por barril pela primeira vez na história. No dia 29 de março do mesmo ano, em mais de 400 cidades do planeta, ocorreu a Hora do Planeta (ou Earth Hour), movimento global para mobilizar a sociedade em torno da luta contra o aquecimento global. Nesse dia, governos, empresas e a população de todo o mundo apagaram as luzes por uma hora para demonstrar a preocupação com o aquecimento global.

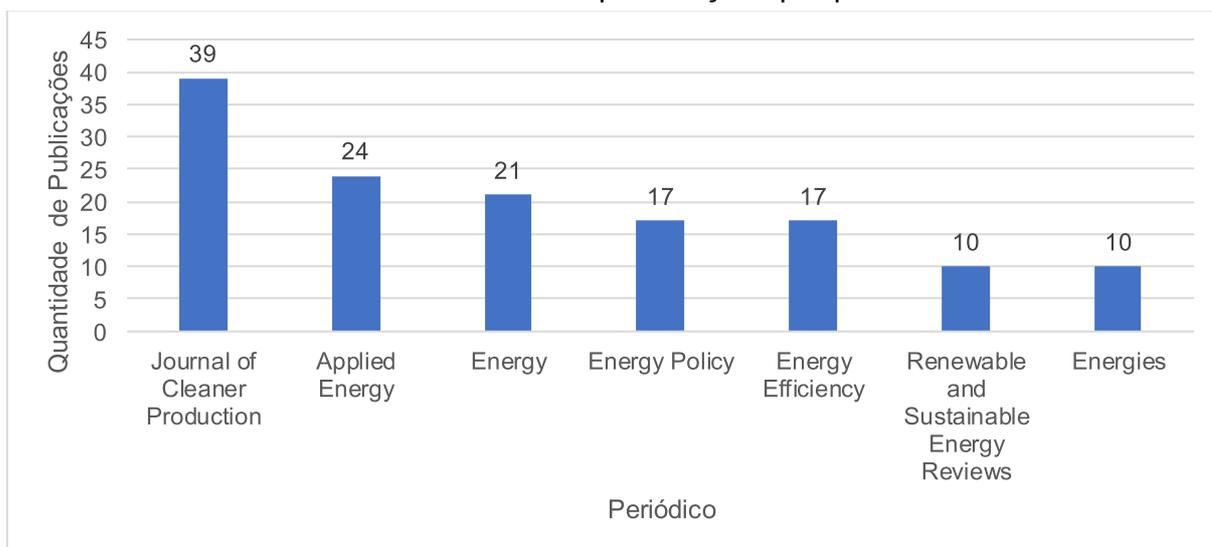
Gráfico 2 – Número de publicações por ano



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Dos 203 estudos selecionados, 138 publicações (68%) estão concentradas em 7 periódicos. As demais 65 publicações estão distribuídas entre 50 diferentes periódicos. Isso significa que uma quantidade restrita de periódicos concentra a maioria das publicações da área em questão. O Gráfico 3 apresenta o número de publicações por periódico, destacando os periódicos mais relevantes.

Gráfico 3 – Número de publicações por periódico



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Um aspecto interessante é percebido ao se analisar a quantidade de estudos publicados por ano considerando apenas os periódicos mais relevantes. Os dados apresentados na Tabela 4 permitem aprofundar essa análise. Entre 2013 e 2019, os periódicos *Journal of Cleaner Production*, *Applied Energy*, *Energy* publicaram 72

estudos. Isso permite inferir que a evolução do número de publicações se concentrou principalmente em 3 periódicos.

Tabela 4 – Publicações anuais dos principais periódicos

ANO	<i>Journal of Cleaner Production</i>	<i>Applied Energy</i>	<i>Energy</i>	<i>Energy Policy</i>	<i>Energy Efficiency</i>	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>	<i>Energies</i>	TOTAL ANO
1996	-	-	-	1	-	-	-	1
1997	-	-	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	1	-	-	-	1
1999	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	1	-	-	-	1
2001	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	1	1	-	-	-	2
2004	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	-	-	-	-	-	-	-	-
2006	-	-	-	1	-	-	-	1
2007	-	-	-	2	-	-	-	2
2008	1	1	-	1	1	-	-	4
2009	-	-	1	-	-	-	-	1
2010	-	1	-	2	1	-	-	4
2011	1	1	2	1	1	2	-	8
2012	-	-	3	-	2	-	-	5
2013	3	3	2	2	-	1	1	12
2014	2	3	-	1	2	1	-	9
2015	5	3	1	2	1	1	1	14
2016	6	5	4	-	1	1	-	17
2017	10	3	3	-	4	4	3	27
2018	6	1	1	1	4	-	3	16
2019	5	3	3	-	-	-	2	13
TOTAL	39	24	21	17	17	10	10	138

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

O *Journal of Cleaner Production* é uma revista internacional, transdisciplinar, focada em pesquisa e prática de produção mais limpa, meio ambiente e sustentabilidade. Tem foco em estudos que avançam no conceito de “produção mais limpa”, visando a prevenir a produção de resíduos e, ao mesmo tempo, a aumentar a eficiência de uso da energia, da água, dos recursos e do capital humano. Esse periódico obteve 30.460 citações em 2016, sendo avaliado com JCR=5.715.

O periódico *Applied Energy* fornece um fórum de informações sobre inovação, pesquisa, desenvolvimento e demonstração nas áreas de conversão e conservação

de energia, uso ideal de recursos energéticos, análise e otimização de processos energéticos, mitigação de poluentes ambientais e sistemas de energia sustentável. O periódico obteve 48.306 citações em 2016, sendo avaliado com JCR=7.182. Por fim, a *Energy* é uma revista internacional multidisciplinar de engenharia e pesquisa em energia. Abrange pesquisas com foco em análise de energia, modelagem e previsão de energia, sistemas de energia integrados, planejamento de energia e gestão de energia. Esse periódico obteve 40.180 citações em 2016, sendo avaliado com JCR=4.520.

A Análise de Redes Sociais (ARS) enfatiza os atores da rede e seus relacionamentos ao mapear as conexões estabelecidas em uma dada comunidade. (PIOVEZAN; FUJITA, 2015). Os parâmetros para a ARS são os seguintes:

- a) densidade: é um indicador para o nível geral de conectividade do grafo; define-se como o número de ligações dividido pelo número de vértices em um grafo completo com o mesmo número de nós. (OTTE; ROUSSEAU, 2002);
- b) centralidade de grau: em um grafo de coautoria, o grau de centralidade de um ator é o número de autores no grafo com quem ele colaborou em pelo menos um artigo. (OTTE; ROUSSEAU, 2002);
- c) proximidade: também é um indicador de centralidade, porém com característica mais ampla, a proximidade de um nó é igual à distância total desse nó dos outros nós no grafo. (OTTE; ROUSSEAU, 2002).

Ao todo, os 203 estudos foram elaborados por 437 autores. A análise de coautoria permite estabelecer se há alguma relação ou proximidade entre esses autores. A partir do software VOSviewer®, foram considerados como parâmetros para análise de coautoria o fato de os autores terem publicado no mínimo dois documentos e o fato de cada cluster apresentar no mínimo 3 autores. Ao todo, foram encontrados 6 clusters formados por 21 autores, conforme evidencia a Tabela 5:

Tabela 5 – Análise de coautoria

Cluster	Autores	Docs	Linhas de pesquisas	Região ou país
1	Cagno, Enrico	18		Itália
	Trianni, Andrea	16	Barreiras, <i>Drivers</i> ,	Itália
	Worrel, Ernest	6	Medidas de EE, PME	Itália
	Neri, Alessandra	3		Holanda

2	Thollander, Patrik	19	Barreiras, PME, Gestão de Energia, Eficiência Energética, Processo de Decisão, Práticas, Modelos, PME	Suécia
	Paramonova, Svetlana	4		Suécia
	Sa, Aida	3		Itália, Suécia
	Karlsson, Magnus	3		Suécia
	Andersson, Elias	2		Suécia
3	Taisch, Marco	4	Sistemas de Gestão de Energia	Itália
	Stahl, Bojan	4		Itália
	May, Gökan	4		Suíça
4	Frattini, Federico	3	Barreiras internas, Auditoria de Sistemas de Energia, Medidas de EE, Indicadores Financeiros.	Itália
	Franzò, Sinome	3		Austrália
	Chiaroni, Davide	2		Itália
	Chiesa, Vittorio	2		Itália
5	Xu, Guangyin	4	Barreiras, Riscos, Tomada de Decisão sob incerteza	China
	Wang, Zhenfeng	2		China
	Ren, Jingzheng	2		China
6	Pusnik, Matevz	2	Sistemas de Gestão de Energia, Medidas de EE	Eslovênia
	Sucic, Boris	2		Eslovênia

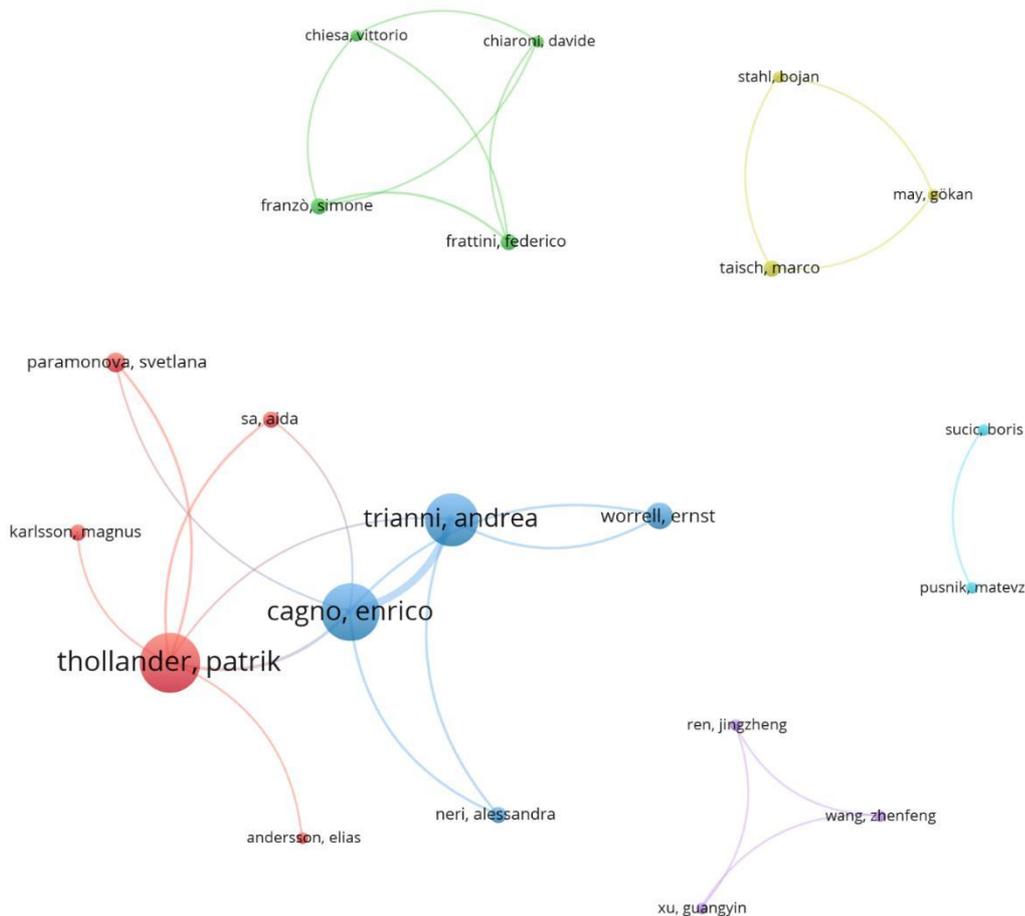
Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

A Figura 4 permite efetuar uma análise complementar da rede de coautoria, pois representa a densidade (tamanho dos círculos), centralidade (posição dos círculos) e proximidade (distância entre os círculos). Os clusters 1 e 2 são os que apresentam maior representatividade, tendo como destaque 3 autores (Cagno, Trianni e Thollander), com estudos realizados principalmente na Itália e Suécia.

Além da análise de coautoria, a rede de termos é outro elemento da ARS que permite visualizar a conexão existente entre as principais palavras utilizadas nos estudos, complementando as características de densidade, centralidade e proximidade, utilizadas na análise de coautoria, com a adição de um fator temporal. Para elaborar o conjunto de termos, foi considerada uma incidência mínima de 15 vezes de um mesmo termo. Além da rede social de termos, a Figura 5 permite verificar a evolução temporal de cada termo, empregando a cor azul para os termos utilizados há mais tempo, passando pelas cores escala Kelvin até chegar aos termos usados mais recentemente, representados pelo vermelho. Foram identificados três *clusters* que se interligam a partir do termo “*energy efficiency*”. O *Cluster A* é formado pelos termos “*energy efficiency*”, “*energy management*”, “*energy management system*”, “*industry*”, “*manufacturing*”, “*energy policy*” e “*sustainability*”. O *Cluster B* também tem como ponto de referência o termo “*efficiency efficiency*”, e é formado pelos termos “*sustainability manufacturing*”, “*renewable energy*”, “*DEA*”, “*System Dynamics*”, “*efficiency*”, “*energy consumption*” e “*production planning*”. A presença dos termos “*DEA*” e “*System Dynamics*” nesse cluster, sendo os únicos artefatos representativos, indica a tendência de que essas ferramentas estejam sendo utilizadas em contextos

semelhantes, com ênfase em questões ligadas ao consumo de energia e eficiência como análise, mas distantes de questões ligadas ao processo de tomada de decisões.

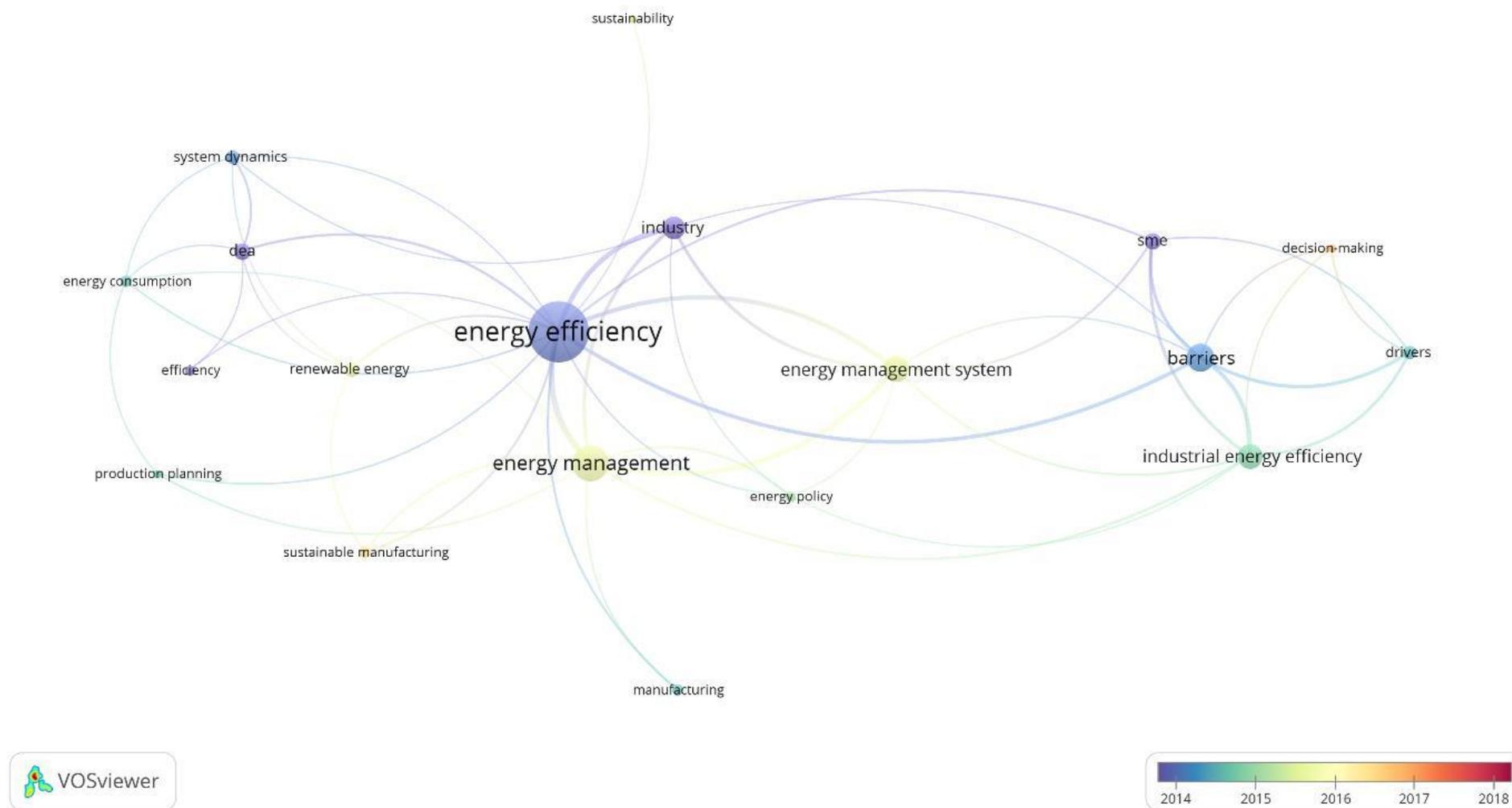
Figura 4 – Rede de coautoria



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

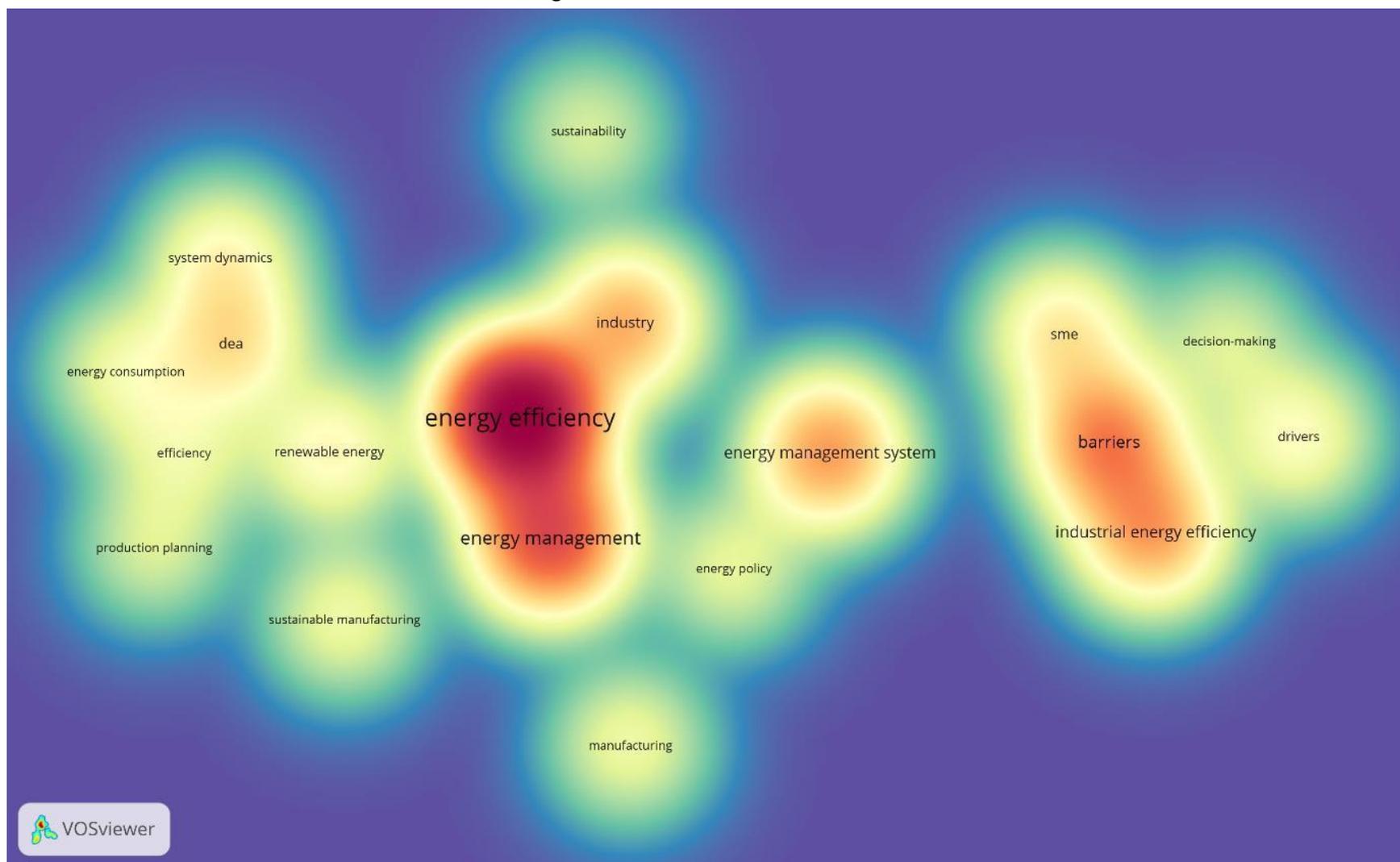
O *Cluster C* é formado por uma rede de estudos mais recentes, contemplada pelos termos “*barriers*”, “*industrial energy efficiency*”, “*SME*”, “*drivers*” e “*decision-making*”. Esse cluster representa os termos centrais abordados nesta tese. Ao observar a distribuição temporal, percebe-se que há uma equiparidade entre os três *Clusters*. Entretanto, é possível destacar alguns termos que aparecem em estudos mais recentes, tais com “*energy management*” e “*decision-making*”, o que pode indicar um novo campo de pesquisa ainda em estágio inicial, com espaço para novos estudos e consolidação de conceitos.

Figura 5 – Redes de termos ao longo do tempo



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 6 - Densidade dos termos



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A representatividade de cada termo pode ser observada na Figura 6, em que a densidade mostrada deixa evidente a intensidade dos clusters. Naturalmente, o *Cluster A* é o mais denso por concentrar a maioria dos estudos analisados. Entretanto, nota-se que o *Cluster C*, localizado à direita, apresenta densidade razoável e fronteiras bem definidas. Apesar de perpassar por todos os termos, esta tese tem foco nos estudos relacionados ao Cluster C. A seção a seguir apresenta a análise de conteúdo dos estudos incluídos na pesquisa.

2.2.2. Análise de conteúdo

Para realizar a análise de conteúdo dos 49 estudos incluídos nesta pesquisa, inicialmente foram identificados indutivamente os principais conceitos utilizados nesses trabalhos no que tange à eficiência energética em ambientes industriais. A sequência da análise foi construída a partir de um conjunto de códigos elaborados e agrupados em famílias, conforme evidencia o Quadro 3. Durante a análise de conteúdo, os estudos foram inicialmente classificados de acordo com tais categorias para auxiliar na avaliação dos trabalhos e para identificar lacunas na literatura.

Quadro 3 – Categorias para análise de conteúdo

Categorias de Análise	Descrição
TIPO DE ESTUDO	
Empírico	Apresenta aplicação prática ou parte de um contexto prático
Teórico	Não contempla aplicação, tais como RSL
TEMA	
Estratégia	Apresenta abordagem estratégica em torno da EE
Indicadores	Apresenta indicadores para EE
Práticas	Apresenta práticas e recomendações para EE
ARTEFATOS	
AHP	Uso da abordagem AHP para suporte à decisão em EE.
DEA	Uso da abordagem DEA para suporte à decisão em EE.
DES	Uso da abordagem DES para suporte à decisão em EE.
Fuzzy	Uso da abordagem Fuzzy para suporte à decisão em EE.
Game Theory	Uso da abordagem Teoria de Jogos para suporte à decisão em EE.
IRR	Uso da abordagem IRR (TIR) para suporte à decisão em EE.
MCDA	Uso da abordagem MCDA para suporte à decisão em EE.
Monte Carlo	Uso da abordagem Monte Carlo para suporte à decisão em EE.
NPV	Uso da abordagem NPV (VPL) para suporte à decisão em EE.
Otimização	Uso da abordagem Otimização para suporte à decisão em EE.
Híbridos	Uso de outros métodos para suporte à decisão em EE.
Payback	Uso da abordagem Payback para suporte à decisão em EE.
SD	Uso da abordagem MDS para suporte à decisão em EE.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

2.2.2.1 Conceitos relacionados à eficiência energética em ambientes industriais

Embora existam definições semelhantes em relação a alguns conceitos, não há um consenso, sendo que as definições são adotadas de acordo com o contexto de cada estudo. Nesse sentido, foram compilados os principais conceitos a serem utilizados nesta pesquisa, que são essenciais para a compreensão deste estudo tendo em vista o foco estar direcionado a ambientes industriais de empresas de uso não intensivo de energia. O Quadro 4 apresenta as principais definições consideradas nesta pesquisa.

Quadro 4 – Conceitos vinculados à EE em ambientes industriais

Conceito	Definições	Autores
Eficiência Energética	Refere-se ao uso de menos energia para produzir a mesma quantidade de serviços ou saída útil. Relação de outputs e a energia de entrada do processo. Está relacionada ao uso de menos entrada (energia), mantendo uma saída constante.	(PATTERSON, 1996) (APLAK; SOGUT, 2013) (FENERICH; DA COSTA; DE LIMA, 2017) (PERRONI et al., 2017)
Gestão de Energia	Atividades de controle, monitoramento e melhoria para eficiência energética. Uso sistemático de gestão e tecnologia para melhorar o desempenho energético de uma organização. Procedimentos pelos quais uma empresa trabalha estrategicamente em energia. Combinação de atividades de eficiência energética, técnicas e gestão de processos relacionados que resultam em menor custo de energia e emissões de CO ₂ .	(PERRONI et al., 2017) (BUNSE et al., 2011) (ANTUNES; CARREIRA; MIRA DA SILVA, 2014) (FINNERTY et al., 2017) (THOLLANDER; PALM, 2015) (SCHULZE et al., 2016)
Gap de Eficiência Energética	Não implementação de medidas para gestão de energia e eficiência energética, apesar da sua boa relação custo-benefício.	(PERRONI et al., 2017)
Benefícios não energéticos	Benefícios relacionados aos investimentos em eficiência energética industrial que vão além da economia de energia; são quantificáveis em um nível variável e surgem em uma perspectiva de curto e/ou longo prazo.	(RASMUSSEN, 2017)
Manufatura Sustentável	Processos que buscam minimizar o desperdício de fabricação e o uso de energia de fontes tradicionais e as consequentes emissões de CO ₂ ; O termo "sustentável", quando aplicado ao uso de energia, é evocado, por um lado, na busca de menos consumo por unidade produzida e, por outro lado, no crescente uso da autoprodução por meio de fontes renováveis de energia.	(ADANE; NICOLESCU, 2015) (BHANOT; RAO; DESHMUKH, 2017) (CASSETTARI et al., 2017)
Efeito rebote	O uso eficiente da energia leva a um aumento no uso de energia.	(SUDHAKARA REDDY, 2013)
Barreiras	Mecanismos inibidores de uma decisão ou comportamento que parece ser eficiente em termos energéticos e econômicos. Fatores que interferem para a não adoção de medidas de eficiência energética. Esses fatores impedem a adoção de tecnologias de eficiência energética, mesmo que sejam economicamente rentáveis.	(TRIANNI; CAGNO; NERI, 2017) (HENRIQUES; CATARINO, 2016) (SUDHAKARA REDDY, 2013)
Drivers	Fatores promovidos por uma ou mais partes interessadas, estimulando a adoção de tecnologias sustentáveis, práticas e serviços eficientes em termos de energia, influenciando uma parte da organização e uma parte do processo de tomada de decisão para combater as barreiras existentes, de modo a proporcionar um impulso para aumento da eficiência energética em uma perspectiva de sustentabilidade industrial.	(TRIANNI; CAGNO; NERI, 2017)

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Tabela 6 – Classificação dos estudos por abordagem e tema

Estudos	Abordagem		Tema		
	Empírica	Teórica	Estratégias	Indicadores	Práticas
(ALCORTA et al., 2014)	X	-	X	-	-
(SA; THOLLANDER; RAFIEE, 2018)	X	-	X	-	-
(APLAK; SOGUT, 2013)	X	-	X	-	-
(PARAMONOVA; THOLLANDER, 2016)	X	-	X	-	-
(ADANE; NICOLESCU, 2015)	X	-	-	X	-
(BOEHNER, 2015)	X	-	-	X	-
(CASSETTARI et al., 2017)	X	-	-	X	-
(DONG; HUO, 2017)	X	-	-	X	-
(KARLSSON, 2011)	X	-	-	X	-
(KIM et al., 2015)	X	-	-	X	-
(KNOBLOCH; MERCURE, 2016)	X	-	-	X	-
(LANDINI; DE MELLO SANT'ANA, 2017)	X	-	-	X	-
(LUNG et al., 2005)	X	-	-	X	-
(NEVER, 2016)	X	-	-	X	-
(FRESNER et al., 2017)	X	-	-	-	X
(SÁENZ et al., 2012)	X	-	-	-	X
(ZENG et al., 2015)	X	-	-	-	X
(FENERICH; DA COSTA; DE LIMA, 2017)	-	X	X	X	X
(MAY et al., 2018)	-	X	X	X	X
(BHANOT; RAO; DESHMUKH, 2017)	-	X	X	-	X
(COOREMANS, 2011)	-	X	X	-	-
(COOREMANS, 2012)	-	X	X	-	-
(FINNERTY et al., 2017)	-	X	X	X	-
(HENRIQUES; CATARINO, 2016)	-	X	X	-	-
(PALM; THOLLANDER, 2010)	-	X	X	-	-
(SUDHAKARA REDDY, 2013)	-	X	X	-	-
(THOLLANDER; PALM, 2015)	-	X	X	-	-
(TRIANNI; CAGNO; NERI, 2017)	-	X	X	-	-
(CAGNO; NERI; TRIANNI, 2018)	-	X	X	-	-
(NERI et al., 2018)	-	X	X	-	-
(ROTZEK; SCOPE; GÜNTHER, 2018)	-	X	X	-	-
(BUNSE et al., 2011)	-	X	-	X	X
(HORSCHIG; THRÄN, 2017)	-	X	-	X	-
(MAY et al., 2015)	-	X	-	X	-
(NEHLER; RASMUSSEN, 2016)	-	X	-	X	-
(OLANREWAJU; JIMOH, 2014)	-	X	-	X	-
(PATTERSON, 1996)	-	X	-	X	-
(PERRONI et al., 2017)	-	X	-	X	-
(PUSNIK et al., 2016)	-	X	-	X	-
(RASMUSSEN, 2017)	-	X	-	X	-
(TRIANNI; CAGNO; DE DONATIS, 2014)	-	X	-	X	-
(ANTUNES; CARREIRA; MIRA DA SILVA, 2014)	-	X	-	-	X
(SCHULZE et al., 2016)	-	X	-	-	X
(ZHU et al., 2017)	-	X	-	-	X
(TRIANNI et al., 2019)	-	X	-	-	X
(LAWRENCE et al., 2019)	-	X	-	X	-
(WANG et al., 2019)	-	X	-	-	X
(LOPES et al., 2018)	-	X	-	-	X
(ZANARDO et al., 2018)	-	X	-	X	X
TOTAL	17	32	18	24	14

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Definidos os conceitos de eficiência energética em ambientes industriais, as seções a seguir abordam eficiência energética a partir de 3 subcategorias propostas por Fenerich, Da Costa e De Lima (2017). Na subcategoria Estratégia, são destacados os estudos que apresentam viés estratégico em torno da eficiência energética. A subcategoria Indicadores mostra os trabalhos que apresentam indicadores de

desempenho energético e sistemas de gestão de energia em ambientes de manufatura. Práticas é a subcategoria em que são alocados os trabalhos que apresentam práticas e recomendações para eficiência energética. Além dos temas acima, a Tabela 6 apresenta a classificação dos estudos em abordagens empíricas e teóricas.

A maioria dos estudos empíricos está relacionada exclusivamente ao tema Indicadores (11 estudos), seguido por Estratégia (4 estudos) e Práticas (3 estudos). Nenhum estudo empírico contemplou mais de um tema. Apenas dois estudos abordam Estratégia, Indicadores e Práticas. (FENERICH; DA COSTA; DE LIMA, 2017; MAY et al., 2018). Entretanto, ambos são revisões de literatura.

2.2.2.2 Estratégia

A energia geralmente não é um problema quando decisões relevantes em relação a ela são tomadas. (COOREMANS, 2011). Decisores geralmente não estão dispostos a investir em eficiência energética, mesmo que o investimento seja rentável, devido à falta de conexão com o *core business*. Isso significa que há uma tendência de concentrar esforços no que é estratégico para a empresa, ou seja, nos domínios conhecidos, e considerar o investimento em eficiência energética como algo secundário. (COOREMANS, 2011).

Entretanto, o estudo de Cooremans (2011) questiona a postura de preterir iniciativas de eficiência energética ao afirmar que um investimento pode ser considerado estratégico se contribui para criar, manter ou desenvolver uma vantagem competitiva sustentável. Dessa forma, se iniciativas para incrementar a eficiência energética da empresa contribuem para ampliar a vantagem competitiva de uma organização, elas são estratégicas e, portanto, devem ser consideradas pelos decisores.

A partir da pesquisa de Cooremans (2011), outros estudos teóricos passaram a considerar o caráter estratégico dos investimentos em eficiência energética. (BHANOT; RAO; DESHMUKH, 2017; COOREMANS, 2012; FINNERTY et al., 2017; HENRIQUES; CATARINO, 2016; MAY et al., 2018; SA; THOLLANDER; RAFIEE, 2018; SUDHAKARA REDDY, 2013; THOLLANDER; PALM, 2015). Entretanto, nenhum desses estudos aprofunda o tema. Um avanço foi realizado por Cooremans (2012), que afirma que para medir o caráter estratégico de um investimento é preciso

mensurar sua contribuição para a vantagem competitiva nas dimensões valor, custos e risco. (COOREMANS, 2012). Quanto mais uma decisão de investimento contribui para a vantagem competitiva, mais estratégica é. Nesse sentido, a forma como uma organização trabalha estrategicamente a questão da energia, bem como os procedimentos escolhidos para isso, são os elementos centrais do conceito de Gestão de Energia. (THOLLANDER; PALM, 2015).

Embora estudos sobre estratégia tenham recebido atenção da academia, esse conceito não é debatido nos trabalhos analisados sob o enfoque de eficiência energética em empresas de uso não intensivo de energia, com exceção dos estudos publicados por Cooremans (2011) e Cooremans (2012).

Dois trabalhos recentes (BHANOT; RAO; DESHMUKH, 2017; TRIANNI; CAGNO; NERI, 2017) apresentam aspectos sobre a falta de métricas para avaliar projetos de eficiência energética, bem como sobre a ausência de modelos que permitam uma compreensão sistêmica sobre os fatores internos e externos que devem ser levados em conta na avaliação estratégica de investimentos em eficiência energética. A falta de métricas foi abordada em duas pesquisas empíricas (ALCORTA et al., 2014; APLAK; SOGUT, 2013), considerando somente indicadores financeiros como parte da avaliação no processo de tomada de decisão. O estudo de Paramonova e Thollander (2016) evidencia um avanço no tema na medida em que traz os aprendizados das PME da indústria Sueca. A relevância da Suécia no campo de pesquisa em eficiência energética para empresas de uso não intensivo de energia foi destacada na análise de coautoria apresentada no início deste capítulo, conforme Tabela 5.

2.2.2.3 Indicadores

Em geral, a eficiência energética se refere ao uso de menos energia para produzir a mesma quantidade de serviços ou saída útil. (APLAK; SOGUT, 2013). Trata-se de um termo genérico, e não há uma medida quantitativa inequívoca. Por isso, é preciso contar com uma série de indicadores para quantificar as mudanças na eficiência energética. (PATTERSON, 1996)

Para compreender as possibilidades de medir quantitativamente a EE, Fenerich, Da Costa e De Lima (2017) e Patterson (1996) sugerem a divisão dos indicadores de EE em quatro grupos

- a) **Termodinâmicos**: são indicadores de eficiência energética que dependem inteiramente de medidas derivadas da ciência da termodinâmica. Alguns desses indicadores são índices simples e alguns são medidas mais sofisticadas que relacionam o uso real de energia com um processo "ideal".
- b) **Físico-termodinâmicos**: são indicadores híbridos nos quais a entrada de energia ainda é medida em unidades termodinâmicas, mas a saída é medida em unidades físicas. Essas unidades físicas tentam medir o atendimento do processo – por exemplo, em termos de toneladas de milhas de produtos ou de passageiros.
- c) **Econômico-termodinâmicos**: também são indicadores híbridos em que a entrega de serviços (saída) do processo é medida em termos de preços de mercado. A entrada de energia, como os indicadores termodinâmicos e físico-termodinâmicos, é medida em termos de unidades termodinâmicas convencionais.
- d) **Econômicos**: esses indicadores medem as mudanças na eficiência energética puramente em termos de valor de mercado. Dessa forma, tanto a entrada de energia quanto a entrega de serviços (saída) são enumeradas em termos monetários.

No setor industrial, a eficiência energética pode ser medida pela quantidade de energia necessária para produzir uma tonelada de produto, alguma outra saída fisicamente definida ou até mesmo o resultado em termos de preços de mercado. Assim, a eficiência energética pode ser calculada pela relação entre *outputs* e a energia de entrada do processo. (FENERICH; DA COSTA; DE LIMA, 2017; PATTERSON, 1996).

$$Eficiência\ Energética = \frac{Saída\ útil\ de\ um\ processo}{Entrada\ de\ energia\ de\ um\ processo} \quad (3)$$

Nesse ponto, destaca-se que a questão passa a ser como definir com precisão a saída útil e a entrada de energia, o que, por sua vez, dá origem a uma série de considerações metodológicas importantes que muitas vezes são ignoradas na literatura, principalmente em ambientes industriais. (PATTERSON, 1996).

Não existe um único indicador de eficiência energética que possa ser aplicado em todas as situações, mas os indicadores apropriados devem ser definidos de

acordo com a decisão a ser tomada ou com a ferramenta de decisão a ser aplicada. (BUNSE et al., 2011). O estudo de Bunse et al. (2011) apresenta uma visão geral de diferentes indicadores de eficiência energética, mas destaca que, embora tenham sido conduzidos estudos sobre indicadores de eficiência energética em nível nacional ou setorial, há um número limitado de estudos concentrados em uma única empresa, planta ou processo. (BUNSE et al., 2011). Os indicadores definidos em um nível agregado não são necessariamente adequados para a gestão de energia em uma única empresa.

A maioria dos estudos teóricos (HORSCHIG; THRÄN, 2017; MAY et al., 2015; NEHLER; RASMUSSEN, 2016; OLANREWAJU; JIMOH, 2014; PERRONI et al., 2017; PUSNIK et al., 2016; RASMUSSEN, 2017; TRIANNI; CAGNO; DE DONATIS, 2014) busca apresentar propostas conceituais para integrar indicadores em sistemas de gestão de energia. Essas tentativas de integração visam a avaliar a eficiência energética, contemplando características físicas, termodinâmicas e econômicas. Entretanto, o indicador denominado intensidade energética (IE) é o que se destaca quando se trata de eficiência energética, principalmente em avaliações amplas para medir a competitividade da indústria em diferentes países.

Embora existam variações sobre a forma de apuração da intensidade energética, de maneira geral, esse indicador é calculado da seguinte forma (BUNSE et al., 2011):

$$\text{Intensidade Energética} = \frac{\text{Entrada de energia de um processo}}{\text{Saída útil de um processo}} \quad (4)$$

As avaliações das iniciativas de eficiência energética industrial tipicamente exibem a economia de energia e a energia desses esforços. Essas economias de custos de energia são rotineiramente avaliadas a partir de modelos convencionais de cálculos de retorno para demonstrar a conveniência de eficiência energética. (LUNG et al., 2005). Entretanto, esse estudo empírico encontrou evidências que relacionam eficiência energética com as chamadas economias auxiliares, as quais se referem a todas as economias de custos quantificáveis resultantes de uma melhoria da eficiência energética, mas que não fazem parte das economias de energia propriamente dita. (LUNG et al., 2005). Essas economias auxiliares às vezes podem ser bastante significativas quando comparadas às economias de energia produzidas por um projeto de eficiência energética e aos custos de implementação desse projeto.

Os demais estudos empíricos tratam a temática indicadores e medidas de desempenho em eficiência energética como elementos complementares para o desenvolvimento de modelos que auxiliem na avaliação e na tomada de decisão com diferentes abordagens, tais como programação linear (KARLSSON, 2011), modelagem de dinâmica de sistemas (ADANE; NICOLESCU, 2015), decisão multicritério (BOEHNER, 2015), DEA (KIM et al., 2015), simulação computacional (CASSETTARI et al., 2017) e lógica *fuzzy* (DONG; HUO, 2017).

2.2.2.4 Práticas

As práticas para o incremento da eficiência energética podem ser agrupadas em: (i) tecnologias mais eficientes; (ii) recuperação de energia; e (iii) práticas operacionais otimizadas. (BUNSE et al., 2011; PERRONI et al., 2017).

Dois estudos empíricos se destacam por avaliarem alguns dos requisitos mínimos propostos por Schulze et al. (2016) em ambientes reais. O primeiro (ZENG et al., 2015) utilizou dinâmica de sistemas para medir e monitorar regularmente o consumo de energia dos principais processos de produção. O segundo (FRESNER et al., 2017) avaliou a auditoria inicial de energia visando a identificar potenciais de economia de energia em 280 PME na Europa. Apesar de a auditoria de energia ser um dos instrumentos mais difundidos e utilizados para superar barreiras à eficiência energética e promover a eficiência energética na indústria, ferramentas de auditoria de energia abrangentes e efetivas ainda são necessárias para dar conta desse processo. (FRESNER et al., 2017).

A utilização de fontes alternativas de energia, tais como fotovoltaica, eólica e biocombustível e o uso de tecnologias de armazenamento de energia também podem ser considerados práticas de eficiência energética. Entretanto, o emprego dessas tecnologias pode levar a um Efeito Rebote, quando a utilização eficiente da energia leva a um aumento no uso de energia. (SUDHAKARA REDDY, 2013). Em outras palavras, o fato de se substituir uma fonte de energia pode gerar redução no custo de compra de energia, mas não significa, necessariamente, que haverá incremento de eficiência energética, podendo haver aumento do consumo de energia.

Dentre os estudos analisados, seis trabalhos citam fontes alternativas de energia (ADANE; NICOLESCU, 2015; APLAK; SOGUT, 2013; CASSETTARI et al., 2017; KIM et al., 2015; LANDINI; DE MELLO SANT'ANA, 2017; SÁENZ et al., 2012)

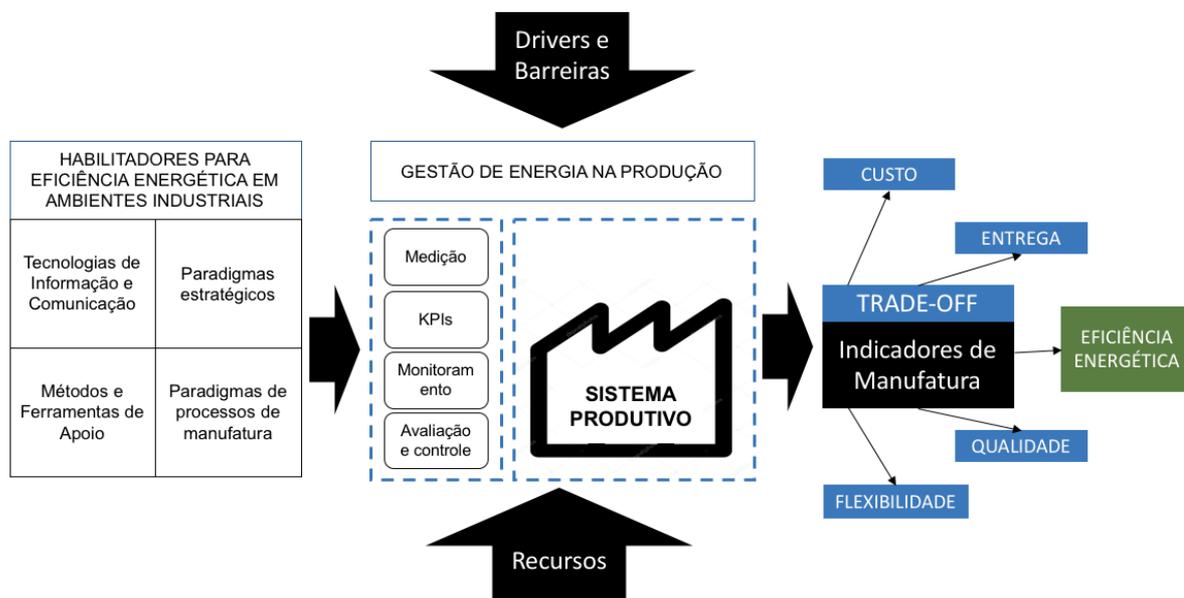
e um cita a possibilidade de armazenagem (KARLSSON, 2011). Entretanto, esses elementos não são aprofundadamente discutidos em termos teóricos.

As práticas mais encontradas nos estudos analisados estão relacionadas ao que é definido como Sistema de Gestão de Energia (*EnMS*). A gestão de energia é o uso sistemático de gestão e tecnologia para melhorar o desempenho energético de uma organização. (ANTUNES; CARREIRA; MIRA DA SILVA, 2014). Entretanto, a gestão de energia e as práticas associadas variam em todas as organizações, principalmente porque não existe um modelo de gestão de energia bem compreendido. (FINNERTY et al., 2017). Para implementar a gestão de energia em uma empresa, um sistema formal de gestão de energia é tratado como ferramenta de apoio. Isso significa que um *EnMS* pode ser definido como um conjunto de elementos inter-relacionados para estabelecer uma política energética e objetivos energéticos, bem como processos e práticas para alcançar esses objetivos. (SCHULZE et al., 2016). O *EnMS* abrange as estruturas organizacionais e informativas, bem como as ferramentas técnicas necessárias para implementar uma gestão de energia. (SCHULZE et al., 2016).

Os estudos teóricos selecionados que abordam os elementos e as características dos *EnMS* em ambientes industriais constituem a maioria dentre as práticas de eficiência energética. (ANTUNES; CARREIRA; MIRA DA SILVA, 2014; BHANOT; RAO; DESHMUKH, 2017; BUNSE et al., 2011; FINNERTY et al., 2017; MAY et al., 2018; SCHULZE et al., 2016; ZANARDO et al., 2018). Na tentativa de estruturar um quadro de referência com os aspectos centrais de um *EnMS* em ambientes industriais, May et al. (2018) sugerem um framework, conforme representado na Figura 7.

Esse *framework* busca fornecer uma análise abrangente do *EnMS*, sugerindo seis principais aspectos para a criação de fábricas eficientes em termos energéticos: (i) localizar *drivers* e barreiras à gestão de energia na fabricação; (ii) entender o papel e o uso das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) como facilitadores significativos; (iii) buscar inovações, mudanças e propostas diversas para redefinir os processos de fabricação pelo desenvolvimento de novas tecnologias; (iv) buscar ferramentas e métodos para viabilizar a manufatura eficiente em termos energéticos; (v) fomentar sistemas de fabricação econômicos, altamente produtivos e eficientes em termos de energia, modelando e otimizando o consumo de energia; e (vi) implementar mecanismos de monitoramento e controle de desempenho.

Figura 7 – Principais aspectos do EnMS em manufatura



Fonte: Adaptado de May et al. (2018).

Complementarmente, alguns requisitos mínimos para estabelecer e operar um *EnMS* são necessários. Dentre eles, Schulze et al. (2016) destacam a necessidade de garantir suporte da alta gestão para atividades de gestão de energia e a importância de envolver ativamente os funcionários na gestão de energia, informando-os, motivando-os e educando-os. Como qualquer outra iniciativa, é preciso desenvolver e implementar um plano estratégico de longo prazo, incluindo uma política energética e metas de poupança de energia. (SCHULZE et al., 2016). A execução do plano de implementação passa pela estrutura e organização das atividades de energia, sendo necessário alocar responsabilidades e tarefas, estabelecendo uma equipe de gestão de energia que tenha contato direto com a gerência.

A garantia de efetividade envolve desenvolver políticas e procedimentos relevantes para uso de energia ou compras eficientes em energia, realizar auditoria de energia para identificar potenciais de economia, culminando em planejar e implementar projetos específicos de economia de energia. Por fim, Schulze et al. (2016) destacam que é fundamental identificar ou estabelecer os principais indicadores de desempenho, exclusivos da empresa, e rastreá-los regularmente para medir o progresso e para monitorar o consumo de energia dos principais processos de produção, relatando os resultados periodicamente à alta gestão.

2.3 FATORES PARA ADOÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Existe um conjunto de potenciais benefícios da gestão de eficiência energética para as empresas, tais como aumento da produtividade, redução da poluição, redução do ruído, baixo custo de manutenção, economia de água, redução de resíduos, entre outros aspectos. Entretanto, há um *gap* de eficiência energética, e esse paradoxo pode ocorrer pela falta de uso de medidas de eficiência energética, mesmo quando elas são financeiramente atrativas. O *gap* de eficiência energética pode ser explicado a partir da compreensão de uma série de barreiras que impedem a adoção de medidas de eficiência energética, levando a um comportamento irracional em alguns momentos. (PERRONI et al., 2015). Os fatores que auxiliam a romper essas barreiras, fazendo com que seja possível reduzir o *gap* de eficiência energética por meio da ampliação do uso de medidas de eficiência energética, são denominados *drivers*.

Esta seção apresenta as definições conceituais e as características das barreiras e dos *drivers* encontrados na literatura. Ao final, apresenta-se uma estrutura que propõe a visualização da relação entre ambos.

2.3.1 Barreiras

Para Sudhakara Reddy (2013), existe um *gap* entre as oportunidades teóricas para investimentos em eficiência energética rentável e os níveis possíveis de serem alcançados na prática. As origens desse *gap* parecem estar no conjunto de barreiras (financeiras, legais, organizacionais ou informativas) que, por sua vez, impedem investimentos em tecnologias para incremento de eficiência energética. (SUDHAKARA REDDY, 2013).

Algumas das principais barreiras apresentadas na literatura são: decisões baseadas em períodos de retorno em vez de cálculos de taxa de juros, capital limitado, baixa prioridade dada à eficiência energética pela gestão, falta de informações ou “componentes difíceis de medir” no que tange aos investimentos em energia. (BUNSE et al., 2011). Para uma melhor compreensão acerca de barreiras, é possível classificá-las em diferentes categorias, conforme evidencia o Quadro 5. (KNOBLOCH; MERCURE, 2016).

Quadro 5 – Barreiras para eficiência energética

Barreira	Resumo
Risco	A exigência de <i>paybacks</i> curtos para investimentos em eficiência energética pode representar uma resposta racional ao risco. Isso se deve ao fato de os investimentos em eficiência energética representarem maior risco tecnológico ou financeiro do que outros tipos de investimento ou de as incertezas envolvidas, de certa forma, estimularem horizontes curtos de tempo.
Informação imperfeita	A falta de informação sobre as oportunidades de eficiência energética pode fazer com que as oportunidades econômicas sejam perdidas. Em alguns casos, informações imperfeitas podem acarretar a fabricação de produtos ineficientes.
Custos ocultos	As análises de engenharia e economia podem não considerar a redução da utilidade associada às tecnologias eficientes em energia ou os custos adicionais associados a elas. Como consequência, os estudos podem superestimar o potencial de eficiência energética. Exemplos de custos ocultos incluem custos indiretos para gestão, interrupções na produção, substituição e treinamento do pessoal, bem como custos associados à coleta, análise e aplicação de informações.
Acesso ao capital	Se uma organização tem capital insuficiente e tem dificuldade em angariar recursos financeiros adicionais por meio de empréstimos, os investimentos em eficiência energética podem ser limitados. Os investimentos também poderiam ser limitados pelos procedimentos internos de orçamento de capital e por regras de avaliação de investimentos.
Incentivos compartilhados	É provável que as oportunidades de eficiência energética sejam perdidas se os atores não puderem se apropriar dos benefícios do investimento. Por exemplo, se os departamentos individuais de uma organização não forem responsáveis pela energia que usam, não terão incentivo para melhorar a eficiência energética.
Racionalidade limitada	Devido a restrições de tempo, atenção e capacidade de processar informações, os indivíduos não tomam decisões da maneira sugerida nos modelos econômicos. Como consequência, podem negligenciar oportunidades para melhorar a eficiência energética, mesmo quando possuem boas informações e incentivos apropriados.

Fonte: Adaptado de Knobloch e Mercure (2016).

O entendimento do conceito de barreiras exige suposições sobre a natureza do comportamento individual e sobre a importância relativa das estruturas sociais, sendo que o papel dos indivíduos e das organizações é relevante para compreender o que leva à rejeição de um investimento, mesmo que este apresente características rentáveis. (SUDHAKARA REDDY, 2013).

2.3.2 Drivers

Seguindo a mesma direção do conceito de barreiras, mas no sentido oposto, encontra-se a definição conceitual de *drivers*. (SUDHAKARA REDDY, 2013). *Drivers* são fatores promovidos por uma ou mais partes interessadas que estimulam a adoção de tecnologias e práticas eficientes em termos de energia, influenciando uma parte da organização e uma parte do processo de tomada de decisão para suprimir as barreiras existentes, de modo a proporcionar incentivos para o investimento em eficiência energética. (TRIANNI et al., 2017). Nesse sentido, *drivers* podem ser conceituados como fatores que facilitam a adoção de tecnologias e práticas de eficiência energética, ultrapassando uma visão de investimentos ao incluir a promoção da cultura e a consciência de eficiência energética em seu escopo. (CAGNO; TRIANNI, 2013). Além da definição conceitual, é relevante identificar e descrever o conjunto de *drivers* sugeridos na literatura, o que é apresentado no Quadro 6.

Quadro 6 – *Drivers* para eficiência energética

Driver	Descrição
Clareza da informação	Todas as informações relacionadas à eficiência energética devem ser amplamente divulgadas de forma apropriada, por exemplo, por meio de padrões específicos. Essa informação deve ser suficiente para conceber e implementar adequadamente programas de melhoria da eficiência energética, bem como para promover e monitorar os serviços de energia e outras medidas de melhoria da eficiência energética.
Eficiência devido a restrições legais (regulamentos e padrões)	As rígidas regulamentações ambientais ou aplicação de padrões podem forçar a indústria a adotar práticas de EE. Embora seja reconhecido que esse tipo de atividade não implica necessariamente uma melhoria efetiva da conscientização em relação à eficiência energética dos gestores, é amplamente reconhecido que tal tipo de obrigação representa um forte controle para a EE industrial.
Auditoria externa de energia	Ajuda qualquer organização a analisar seus fluxos de energia e descobrir áreas em que o consumo pode ser reduzido. Uma vez que esses dados estejam claros, práticas para incremento de EE podem ser estruturadas e agendadas na empresa.
Imagem "Green"	Ter uma boa imagem e uma boa reputação em EE é importante para as empresas. Esse <i>driver</i> inclui todas as pressões advindas de organizações não governamentais, grupos comunitários, organizações ambientais e outras partes interessadas que possam mobilizar a opinião pública a favor ou contra a política ambiental de uma empresa. À medida que mais clientes se tornam dispostos a pagar um prêmio por "produtos verdes", as empresas podem olhar para a imagem "Green" como uma forma de obter oportunidades de negócios.
Aumento das tarifas de energia	Quando as empresas enfrentam preços mais elevados de energia, olham primeiro a parcela do custo de energia em relação ao custo total de produção. No caso de grandes ações, as empresas provavelmente estão dispostas a atuar na redução de gastos com energia.

Driver	Descrição
Estratégia de energia em longo prazo	A estratégia de energia em longo prazo é muito importante por representar desafios consideráveis para a gestão das empresas. Com esse tipo de estratégias, os sistemas de gestão de energia e meio ambiente são mais propensos a ser bem-sucedidos, à medida que crescem na lista de prioridades. Conseqüentemente, os investimentos em eficiência energética são encorajados.
Apelo tecnológico	Equipamentos eficientes no uso da energia dão a impressão de serem "modernos", "atraentes" e "da moda", aumentando a probabilidade da aquisição da tecnologia em questão. Por esse motivo, o recurso tecnológico pode representar um <i>driver</i> interessante para fabricantes de equipamentos na promoção efetiva de soluções de eficiência energética.
Confiabilidade da informação	A informação está amplamente disponível para as empresas. No entanto, é frequentemente desconsiderada, pois é vista como não confiável.
Contratos voluntários	Resultam diretamente das políticas públicas do governo ou da colaboração entre as diferentes empresas que aderiram a um contrato que traz benefícios em termos de eficiência energética. Também estimulam a adoção de novas tecnologias em contraste com as menos eficientes.
Disposição para competir	As empresas muitas vezes realizam a maioria de seus investimentos de acordo com seus principais negócios e preferem aqueles que melhoram sua posição no mercado. Quando uma empresa vê medidas de EE como ferramentas competitivas, tais tópicos não são mais tratados como marginais, e sim como de primordial importância para alcançar metas comerciais.
Redução de custo a partir da redução do consumo de energia	Com esse <i>driver</i> , uma empresa é empurrada para consumir menos energia, pois tal redução está diretamente relacionada a uma diminuição de custo. Trata-se de um <i>driver</i> de mercado, mas a implementação depende exclusivamente da decisão tomada pela própria empresa.
Informações sobre custos reais de energia	Se o preço da energia representasse o seu preço real, sem subvenções nem distorções, abrangendo todas as externalidades, o mercado trabalharia para a melhoria da eficiência energética e poderia haver uma menor intervenção do governo.
Apoio à gestão	Muitas vezes, medidas atrativas de EE não são realizadas devido à falta de capacidade das empresas de gerenciar a complexidade de todo o projeto. Esse tipo de suporte pode ser executado, por exemplo, por empresas especializadas, capazes de fornecer serviços técnicos, comerciais e financeiros relacionados a projetos de eficiência energética. Além disso, dentro do apoio à gestão estão contempladas ações relacionadas à gestão de mudanças, que giram em torno da avaliação do impacto de investimentos em EE no contexto comportamental. Esse aspecto parece particularmente crucial para o sucesso contínuo de qualquer melhoria da eficiência energética.
Subsídios de investimentos públicos	A criação de fundos para facilitar a implementação de programas de eficiência energética e promover o desenvolvimento de um mercado de serviços energéticos tem sido amplamente reconhecida como uma ferramenta apropriada para a provisão de financiamento inicial em tal mercado. Os subsídios podem ser disponibilizados às empresas por meio de políticas governamentais e, portanto, apoiar os investimentos em direção a uma maior eficiência energética.
Financiamento privado	Pode representar suporte monetário, por exemplo, empréstimos que uma empresa pode obter de instituições financeiras; inclui, também, o chamado financiamento de terceiros.
Disponibilidade de informações	Para estarem mais informados sobre o seu consumo individual de energia ao tomar decisões, os consumidores finais devem receber uma quantidade razoável de informações relevantes. Deve-se

<i>Driver</i>	Descrição
	estabelecer condições e incentivos adequados para que os operadores de mercado forneçam mais informações e conselhos aos clientes finais sobre a eficiência de uso final de energia.
Maior consciência	A consciência representa um <i>driver</i> capaz de trazer benefícios em longo prazo para a eficiência energética de uma empresa.
Cooperação externa	A colaboração com o setor industrial em que opera uma empresa pode gerar intercâmbio de informações. As empresas podem alavancar a colaboração com fornecedores, trabalhando com <i>designers</i> para reduzir e eliminar o impacto ambiental do produto, e trabalhar com clientes para alterar as especificações do produto.
Conhecimento de benefícios não energéticos	A pesquisa empírica mostrou a relevância desse <i>driver</i> , que inclui benefícios como: a) melhor ambiente interno, conforto, saúde, qualidade, segurança e produtividade; b) ruído reduzido; c) poupança de mão de obra e tempo; d) controle de processo melhorado; e) maior confiabilidade, comodidade ou conveniência; e f) benefícios econômicos diretos e indiretos com a redução ou eliminação de equipamentos. Como resultado, a incorporação de benefícios na avaliação de atratividade da EE ajuda a acelerar a adoção de EE.
Gestão com ambição e compromisso reais	Ter pessoas com ambições reais como membros da gerência também pode ser benéfico para a adoção de medidas de EE. De fato, o maior poder de pessoas ambiciosas que gerenciam problemas de eficiência energética pode transformá-los em uma prioridade para uma empresa.
Staff com ambição real	Este <i>driver</i> cria uma cultura na qual os funcionários são genuinamente habilitados e focados no cliente; de fato, a implementação de tecnologias e práticas de eficiência energética depende também da motivação do pessoal.
Programas de educação e treinamento	Sem um conhecimento adequado sobre o uso de medidas de EE a eficiência potencial não será totalmente explorada, mesmo após a implementação de medidas de EE. Em contrapartida, a implementação de programas internos de educação e formação sobre eficiência energética estimularia o uso e a gestão adequados do equipamento e também aumentaria a conscientização e a cultura da eficiência energética.
Suporte técnico	Este <i>driver</i> é particularmente útil para superar barreiras que envolvem riscos técnicos, tais como a interrupção da produção, particularmente crítica quando há longas interrupções, como no caso da instalação de algumas medidas de EE específicas, cujas consequências podem ser parcialmente desconhecidas. Nesse caso, o suporte pode ser obtido por meio de fornecedores de tecnologias, instaladores, empresas especializadas, etc.

Fonte: Adaptado de Trianni et al. (2017).

Outra ação relevante no tocante a *drivers*, principalmente para ampliar a compreensão dos decisores, é caracterizá-los e classificá-los. Para isso, Trianni et al. (2017) propõem uma classificação de acordo com dois elementos principais, tendo como base uma perspectiva de decisão industrial. O primeiro elemento é a natureza, ou seja, o tipo de ação implícita ao se fazer alavancagem do *driver*. O segundo elemento é a origem, que determina se um *driver* pode ser proposto por uma empresa em si ou se é causado por um agente externo. De acordo com uma perspectiva de tomada de decisão industrial, é bastante relevante entender se uma empresa pode

promover tais *drivers* ou se eles são, de alguma forma, gerados por partes interessadas externas. (TRIANNI et al., 2017).

Em síntese, a natureza dos *drivers* apresenta uma característica fundamental: o estímulo para a adoção de medidas de eficiência energética pode vir de diferentes meios. Cada *driver* pode remeter a um tipo diferente de ação, conforme apresentado na Tabela 7:

Tabela 7 – Classificação dos *drivers* de acordo com sua natureza

Categoria	Drivers
Regulatório interno	Imagem “Green”
	Estratégia de energia em longo prazo
	Contratos voluntários
	Disposição para competir
Regulatório externo	Clareza da informação
	Eficiência devido a restrições legais
	Auditoria externa de energia
	Aumento das tarifas de energia
	Apelo tecnológico
	Confiabilidade da informação
Econômico interno	Redução de custo a partir da redução do consumo
	Informações sobre custos reais de energia
Econômico externo	Apoio à gestão
	Subsídios de investimentos públicos
	Financiamento privado
Informativo interno	Conhecimento de benefícios não energéticos
	Gestão com ambição e com compromisso reais
	Staff com ambição real
Informativo externo	Disponibilidade de informações
	Maior consciência
	Cooperação externa
Formação profissional interno	Programas de educação e treinamento
Formação profissional externo	Suporte técnico

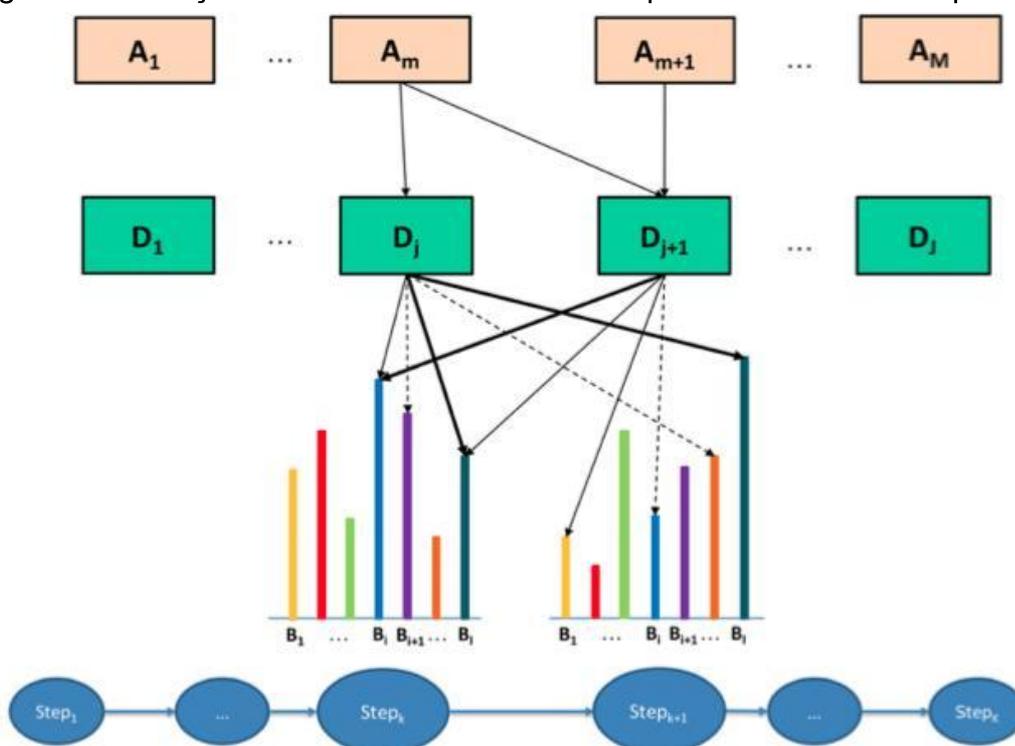
Fonte: Adaptado de Trianni et al. (2017).

Os esforços realizados no sentido de contribuir com a definição e descrição dos *drivers* para a eficiência energética industrial foram dedicados a entender melhor o problema. (TRIANNI; CAGNO; NERI, 2017). Entretanto, essa abordagem parece muito vaga e não se concentra suficientemente nos responsáveis pelas decisões da indústria, tampouco é capaz de identificar e caracterizar as relações existentes entre *drivers* e barreiras ao longo do processo de tomada de decisão.

A relação entre barreiras e *drivers* é pouco explorada na literatura. O *framework* apresentado na Figura 8 oferece uma tentativa de apontar o conjunto de relações que liga *drivers* a barreiras ao longo do processo de tomada de decisão. Nesse *framework*, é possível visualizar que um *driver* (D_i) poderia atuar sobre uma barreira (por exemplo,

B_i) com uma certa força (linha em negrito) em uma etapa (k) do processo de tomada de decisão, enquanto atua na mesma barreira, mas em um outro passo de tomada de decisão ($k + 1$ -ésimo), com uma força diferente (linha pontilhada). Além disso, o mesmo *driver* poderia atuar simultaneamente em uma barreira (B_{i+1}) em um passo k -ésimo (linha contínua) e em uma barreira diferente em outro $k + 1$ -ésimo passo do processo de tomada de decisão. Para completar a descrição, deve-se notar que o *driver* pode ser promovido por uma ou mais partes interessadas da A_m . (TRIANNI; CAGNO; NERI, 2017).

Figura 8 – Relação entre barreiras e *drivers* no processo de decisão para EE



Fonte: Adaptado de Trianni, Cagno e Neri (2017).

Entretanto, esse *framework* representa genericamente as etapas do processo de decisão. Além disso, as características e os artefatos que podem ser utilizados em um processo de tomada de decisão visando à eficiência energética não foram detalhados. Outro aspecto do *framework* apresentado é a relação linear entre os elementos, o que é uma limitação do modelo proposto por Trianni, Cagno e Neri (2017), visto que tais elementos poderiam estar inter-relacionados de forma sistêmica. Isso significa assumir a premissa de que as partes interessadas, as barreiras e os *drivers* influenciados são mutuamente influenciados em uma estrutura sistêmica.

2.4 MODELAGEM DE DINÂMICA DE SISTEMAS

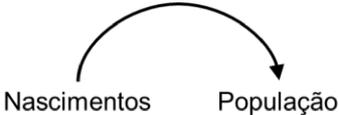
A Modelagem de Dinâmica de Sistemas (MDS) é uma abordagem que utiliza mapas informais e modelos computacionais formais para compreender e explorar o comportamento de um sistema complexo. (MORANDI, 2017). Esses sistemas podem ser sociais, gerenciais, econômicos ou ecológicos, e são caracterizados pela interdependência e interação mútua entre seus elementos, assumindo como características preponderantes a causalidade circular e a retroalimentação de informações. (RICHARDSON, 2011). Assim, a partir da representação dessa compreensão dinâmica e circular, é possível formular hipóteses e testar o comportamento desse sistema por meio de alterações em variáveis endógenas, bem como de diferentes políticas e tomada de decisões.

Essa abordagem foi inicialmente desenvolvida por Jay Forrester a partir da definição de quatro fundamentos básicos. O primeiro se sustenta na teoria de sistemas de informação, na qual a retroalimentação (ou *feedback*) é um conceito fundamental. O segundo fundamento se refere ao amplo conhecimento dos processos de tomada de decisão, que pode envolver tanto a razão quanto a emoção dos sujeitos. O terceiro fundamento é a utilização de abordagens para a construção e experimentação de modelos voltados a sistemas complexos. Por fim, Forrester (1961) estabelece como último fundamento a utilização de “computadores digitais” como meio de simular modelos matemáticos realistas. (FORRESTER, 1961).

O Diagrama de Enlace Causal (DEC) é uma técnica qualitativa utilizada na modelagem de dinâmica de sistemas para descrever as relações causais básicas existentes entre as variáveis de interesse, visando a fundamentar, ao longo do tempo, o modo de comportamento do sistema estudado. (BINDER et al., 2004). A dinâmica de sistemas descreve, por meio de uma linguagem não linear, uma ampla gama de inter-relacionamentos e padrões de mudança. A construção do DEC é o primeiro passo para a representação do conceito de *feedback*, pois mostra como as ações podem reforçar ou neutralizar (equilibrar) umas às outras. (ABBAS; POSSAMAI, 2009). A criação do DEC parte de qualquer variável, fazendo uso de setas que representem a influência de uma variável sobre os outros elementos. Essas conexões sempre compreendem um círculo de causalidade em que cada elemento pode influenciar outro. (SENGE, 2006). Por utilizar uma linguagem simples, o DEC é empregado para construir uma visão compartilhada do sistema a

ser compreendido. Para representar as relações de causa e efeito existentes entre os elementos ou variáveis do sistema, o DEC utiliza uma notação específica, conforme evidencia o Quadro 7.

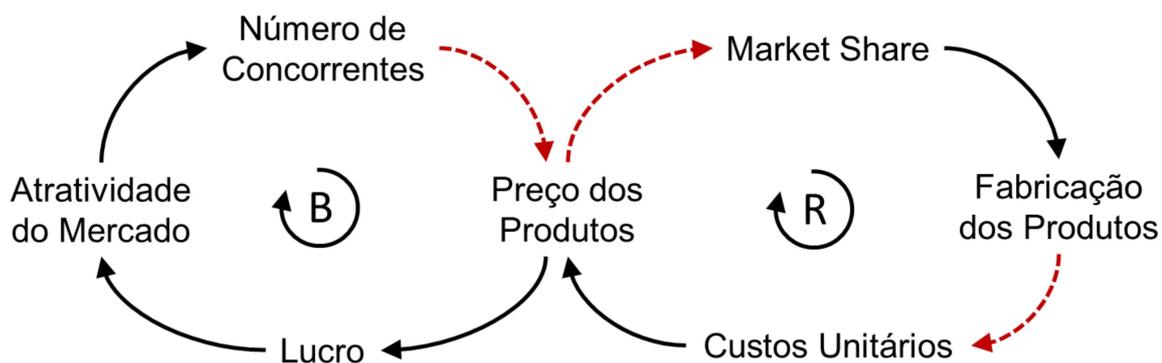
Quadro 7 – Notação para elaboração do DEC

Símbolos	Interpretação	Representação Matemática	Exemplos
	<i>Ceteris Paribus</i> , se X incrementa (reduz), então Y incrementa (reduz)	$\frac{\partial Y}{\partial X} > 0$	
	<i>Ceteris Paribus</i> , se X incrementa (reduz), então Y reduz (incrementa)	$\frac{\partial Y}{\partial X} < 0$	

Fonte: Adaptado de Maldonado e Vaz (2016).

Assim, cada relação X-Y é construída visando a identificar possíveis enlaces balanceadores ou reforçadores. A Figura 9 apresenta um exemplo de DEC. (MALDONADO; VAZ, 2016). No exemplo, o enlace B (balanceador) representa o comportamento do sistema, em que à medida que o preço aumenta, o lucro também aumenta, tendo como consequência uma maior atratividade do mercado. Um mercado mais atrativo tende a ter um número maior de concorrentes, fazendo com que os preços diminuam, dessa forma, com que o sistema mantenha o equilíbrio. No enlace R (reforçador), a tendência seria um aumento exponencial caso o sistema não tivesse o preço como fator limitante.

Figura 9 – Exemplo de Diagrama de Enlace Causal



Fonte: Adaptado de Maldonado e Vaz (2016).

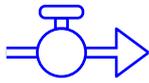
Os sistemas empresariais são, em essência, sistemas sócio-técnicos. Sem esse entendimento, a engenharia e a gestão do ciclo de vida desses sistemas são menos bem compreendidas e, portanto, mal modeladas. (WANG et al., 2014). Nesse sentido, a modelagem computacional de dinâmica de sistemas busca construir micromundos de um sistema analisado a partir de ciclos de retroalimentação não lineares. (ANDRADE et al., 2006).

Uma das características da modelagem de sistemas é tornar compreensível o que não é intuitivo, visto que a mente humana apresenta certas limitações ao se deparar com situações de alta complexidade, tendendo a concluir respostas com base na intuição. (TRAPP, 2015). Nessas situações, a intuição muitas vezes acaba por enganar a mente, levando-a a falsas conclusões. (TRAPP, 2015). Nos modelos dinâmicos simulados, as conclusões são surpreendentes porque mostram resultados totalmente diferentes do que se esperava. (ANDRADE et al., 2006).

A transição entre a representação qualitativa do DEC e uma representação quantitativa é realizada por meio da técnica chamada Diagrama de Estoque e Fluxo (DEF). Ao contrário do DEC, que preza pela simplicidade e acessibilidade, o DEF é útil apenas para especialistas e pessoas que entendem como esses diagramas funcionam. (BINDER et al., 2004). Para construí-los, utiliza-se uma linguagem formada pelos elementos apresentados no Quadro 8. (MORANDI et al., 2014).

Quadro 8 – Elementos do Diagrama de Estoque e Fluxo

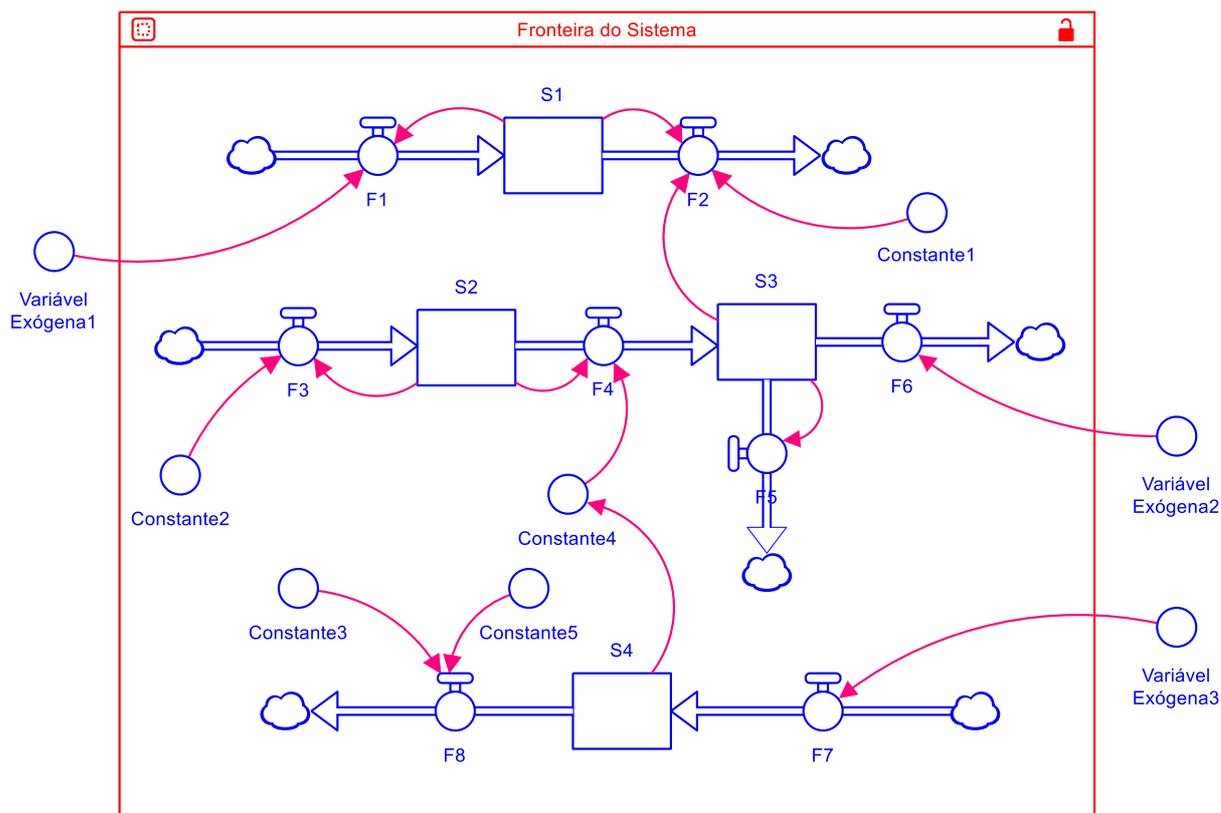
Elemento	Função	Representação
----------	--------	---------------

Estoques	Registram a acumulação de determinada variável	<p>Estoque</p> 
Fluxos	Representam a taxa de mudança de recursos ou informações	 <p>Fluxo</p>
Variáveis e parâmetros	Auxiliam a estabelecer ajustes ao sistema por meio de realização de operações algébricas	 <p>Conversores</p>
Fontes e escoadouros	São a origem e o destino dos fluxos	
Conectores	Estabelecem a relação entre os elementos do modelo	

Fonte: Adaptado de Morandi et al. (2014).

O DEF utiliza a matemática diferencial e a construção de sistemas de equações diferenciais que são resolvidas com o auxílio de softwares especializados. Os sistemas de equações são compostos pelos elementos supracitados. Matematicamente, o estoque representa a resolução de uma equação diferencial dentro do sistema de equações. (MALDONADO; VAZ, 2016). Como exemplo, o sistema apresentado na Figura 10 tem quatro estoques, representando um sistema de equações diferenciais de quarta ordem. A forma como são controlados os fluxos é chamada função decisão.

Figura 10 – Exemplo de Diagrama de Estoque e Fluxo



Fonte: Adaptado de Maldonado e Vaz (2016).

Nesse exemplo, é possível visualizar a inter-relação entre os elementos. Para o Estoque S1, as equações seriam:

$$\frac{dS1}{dt} = F1 - F2 \quad (5)$$

Onde:

$$F1 = f(S1, \text{VariávelExogena1})$$

$$F2 = f(S1, S3, \text{Constante1})$$

Ao observar a Figura 10, é possível compreender que o estoque S1 depende das variáveis de fluxo F1 e F2. A variável de fluxo F1 depende do nível da própria variável S1 no tempo t-1, bem como da variável exógena 1, assim como a variável de fluxo F2 depende do nível da variável S1 no tempo t-1, do nível da variável estoque S3 no tempo t-1 e do valor da Constante 1. Por convenção, as variáveis de fluxo de entrada são representadas como positivas e as variáveis de fluxo de saída são evidenciadas como negativas.

A construção de modelos de dinâmica de sistemas pode ser abordada de duas maneiras. A modelagem “de dentro para fora” (*inside-out*) parte da premissa de que o modelador tem conhecimento suficiente a respeito da estrutura do sistema a ser modelado. Essa abordagem é utilizada quando se deseja encontrar as melhores maneiras de gerenciar um sistema. Assumindo que a estrutura do modelo tenha sido modelada satisfatoriamente, a modelagem de dentro para fora permite a modificação do modelo para visualizar as consequências da operação do sistema por meio de diferentes ações. (PIDD, 2003).

Por outro lado, a modelagem “de fora para dentro” (*outside-in*) parte da premissa de que o modelador tem conhecimento suficiente do comportamento global do sistema, mas não conhece inteiramente as razões desse comportamento. Nesse caso, o objetivo é elaborar um modelo que represente as estruturas sistêmicas para reproduzir resultados que imitem o comportamento observado. Assim, a modelagem de fora para dentro visa, primeiramente, a desenvolver a compreensão sobre porque as coisas ocorrem. (PIDD, 2003).

Mesmo que inicialmente pareçam opostas, essas abordagens podem ser utilizadas simultaneamente, de modo a se complementarem em diferentes etapas do processo de construção de um modelo de dinâmica de sistemas. Por exemplo, é possível iniciar a modelagem com a abordagem de fora para dentro para ampliar o conhecimento do sistema, dando ênfase ao DEC e, posteriormente, detalhar o comportamento específico de cada parte do modelo utilizando a abordagem de dentro para fora, com ênfase no DEF.

2.5 MODELAGEM TEÓRICA

Nesta seção, são apresentados os elementos que estruturam a base teórica desta pesquisa. Inicialmente, realiza-se um levantamento dos artefatos encontrados na RSL. Esses artefatos são analisados apontando-se as principais lacunas encontradas no contexto de aplicação desta tese. Por fim, é estruturado o modelo teórico como proposta conceitual para realização desta pesquisa.

O *payback* é uma técnica de análise de investimento que visa a calcular o tempo que o investidor precisa para recuperar o capital investido a partir das receitas advindas da realização de um projeto. (BARROS; BORELLI; GEDRA, 2016). O VPL é calculado para determinar o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma

taxa de juros definida, menos o custo do investimento inicial. Basicamente, é o cálculo de quanto as receitas e/ou os pagamentos futuros, somados a um custo inicial, valeriam atualmente. É preciso considerar o conceito de valor monetário no tempo em função do custo de oportunidade de se colocar o dinheiro, por exemplo, em uma aplicação financeira em vez de aplicar esse mesmo valor na realização de um projeto. (BARROS; BORELLI; GEDRA, 2016). A TIR é necessária para igualar o valor de um investimento (valor presente) com os seus respectivos retornos futuros ou saldos de caixa. Aplicada em análise de investimentos, significa a taxa de retorno de um projeto. Isso quer dizer que a TIR é a taxa que anula o investimento. É utilizada para reunir em um único número o poder de decisão sobre determinado projeto, sem depender da taxa de juros vigente no mercado de capitais. (BARROS; BORELLI; GEDRA, 2016).

Dentre os artefatos identificados na RSL, os que representam a maioria das aplicações, totalizando 24 incidências de um total de 41 encontradas, são PB, VPL e TIR, conforme apresentado no Quadro 9. Isso significa que essas 3 ferramentas de análise de investimentos são as mais utilizadas para avaliar a viabilidade da adoção de iniciativas de eficiência energética em ambientes industriais. Entretanto, conforme destacado na literatura, as abordagens que utilizam PB, VPL e TIR apresentam limitações importantes, fazendo com que iniciativas não sejam adotadas mesmo quando esses métodos apresentam resultados atrativos. Uma síntese dessas limitações é apresentada no Quadro 10.

Como limitações encontradas pelas técnicas financeiras, destacam-se a ausência de fatores não econômicos, também chamados de benefícios não financeiros. Dado ao fato de que características financeiras por si só não são suficientes para conduzir a escolha de uma tecnologia de eficiência energética, a ausência de fatores não financeiros implica um desalinhamento ainda maior dessas abordagens. Nesse sentido, outros estudos passaram a avaliar o uso de ferramentas não financeiras para complementar as ferramentas financeiras.

Quadro 9 – Artefatos encontrados

TRABALHOS/ARTEFATOS	PB	VPL	TIR	MCDM	Monte Carlo	Simulação por Eventos Discretos (SED)	Otimização	Dinâmica de Sistemas (DS)
(LANDINI; DE MELLO SANTANA, 2017)	-	-	-	-	-	-	-	-
(LUNG et al., 2005)	-	-	-	-	-	-	-	-
(NEHLER; RASMUSSEN, 2016)	-	-	-	-	-	-	-	-
(RASMUSSEN, 2017)	-	-	-	-	-	-	-	-
(KNOBLOCH; MERCURE, 2016)	-	-	-	-	-	-	-	-
(BUNSE et al., 2011)	-	-	-	-	-	-	-	-
(FINNERTY et al., 2017)	-	-	-	-	-	-	-	-
(KARLSSON, 2011)	-	-	-	-	-	-	-	-
(ALCORTA et al., 2014)	-	-	-	-	-	-	-	-
(TRIANNI; CAGNO; DE DONATIS, 2014)	-	-	-	-	-	-	-	-
(COOREMANS, 2012)	-	-	-	-	-	-	-	-
(BHANOT; RAO; DESHMUKH, 2017)	-	-	-	-	-	-	-	-
(APLAK; SOGUT, 2013)	-	-	-	-	-	-	-	-
(DONG; HUO, 2017)	-	-	-	-	-	-	-	-
(OLANREWAJU; JIMOH, 2014)	-	-	-	-	-	-	-	-
(HORSCHIG; THRÄN, 2017)	-	-	-	-	-	-	-	-
(BOEHNER, 2015)	-	-	-	-	-	-	-	-
(CASSETTARI et al., 2017)	-	-	-	-	-	-	-	-
(SAENZ et al., 2012)	-	-	-	-	-	-	-	-
(ADANE; NICOLESCU, 2015)	-	-	-	-	-	-	-	-
(ZENG et al., 2015)	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	10	7	7	7	2	3	2	3

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Nos artefatos que apresentam características não financeiras, técnicas relacionadas a métodos de decisão de múltiplos critérios (MCDM), como *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e *Lógica Fuzzy*, foram as encontradas na RSL. O AHP fornece um procedimento abrangente e racional para estruturar um problema, para representar e quantificar seus elementos, para relacioná-los às metas globais e para avaliar soluções alternativas. (HO; MA, 2017). A *Lógica Fuzzy* tem sido amplamente utilizada em conjunto com o AHP por permitir que os tomadores de decisão criem julgamentos interativos e considerem a incerteza. (HO; MA, 2017).

O estudo de Aplak e Sogut (2013) propõe uma abordagem combinando elementos de AHP, Fuzzy e Teoria de Jogos para desdobrar estratégias industriais e priorizar as escolhas relativas à gestão de energia. Apesar de ser abrangente, essa

abordagem apresenta um processo linear, sem considerar as possíveis inter-relações existentes entre variáveis externas e internas.

Quadro 10 – Síntese dos artefatos

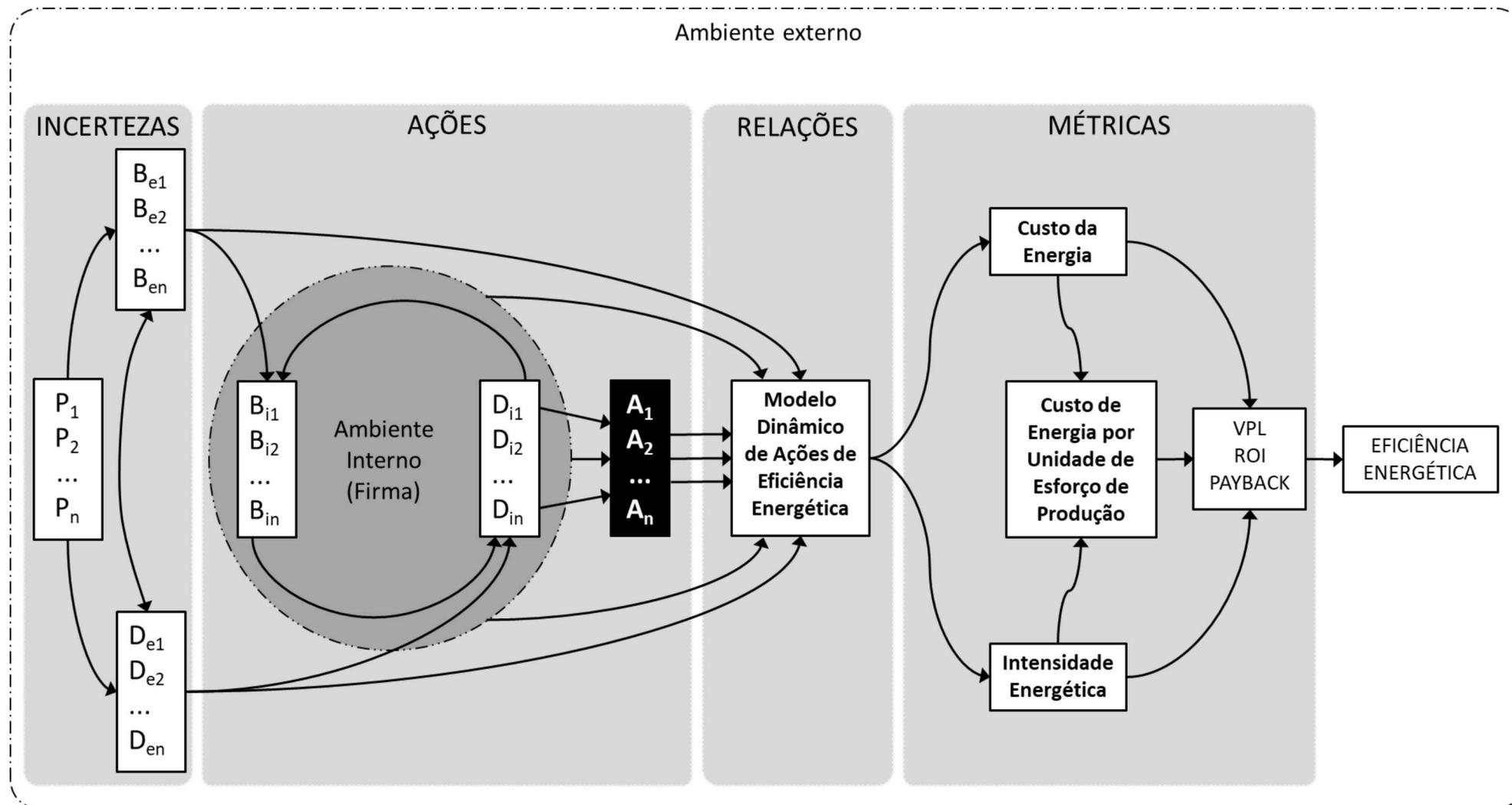
Área	Técnica	Ocorrências	Lacunas (no contexto de aplicação)
Financeiras	Payback	10	Não inclui benefícios não financeiros;
	VPL	7	Não considera a possível inter-relação entre variáveis externas e internas;
	TIR	7	
Não financeiras	MCDM	7	Processo Linear e estático.
Modelagem	Monte Carlo	2	Não considera a possível inter-relação entre variáveis externas e internas;
	SED	3	
	Otimização	2	Processo Linear e estático (Otimização);
	DS	3	Enfoque local.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O modelo teórico identificado na literatura apresenta um conjunto de lacunas e limitações, centrando-se na utilização de artefatos que, em síntese, não consideram a possível inter-relação existente entre variáveis externas e internas e adotando um processo de decisão linear estático, com enfoque local. No modelo atual, as avaliações da decisão de adotar uma Ação de Eficiência Energética são realizadas com base em abordagens tradicionais como VPL, ROI e *Payback*, o que não tem contribuído para a adoção de práticas de eficiência energética pelos consumidores industriais de pequeno porte, aumentando o *gap* de eficiência energética.

O modelo teórico proposto nesta tese e representado na Figura 11 parte da estrutura identificada na literatura e do conjunto de lacunas e limitações atuais e visa a aprimorar esse modelo a partir de três pilares. O primeiro pilar consiste na representação dos elementos do modelo atual, estruturando-os conforme abordagem RDM, orientada pelo framework XLRM, detalhado na Seção 4.2.

Figura 11 – Modelo para avaliação das ações para EE



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Assim, o conjunto de barreiras externas (B_{en}), as partes interessadas (P_n) e os *drivers* externos (D_{en}) constituem as incertezas atuantes no processo de decisão. Essas incertezas, por sua vez, influenciam a dinâmica do ambiente interno da firma. Dessa forma, em cada contexto específico podem existir barreiras internas (B_{in}) que necessitam de *drivers* internos (D_{in}) para serem transpostas. A definição de uma ou mais ações (A_n) é resultado da interação mútua entre P_n , B_{en} , D_{en} , B_{in} e D_{in} .

O segundo pilar do modelo teórico proposto é a inserção da representação do relacionamento das variáveis anteriores em um modelo dinâmico, nesta tese chamada de Modelo Dinâmico das Ações de Eficiência Energética (MDAEE), dada à natureza complexa apresentada. Destaca-se que no processo de RSL não foram encontrados artefatos que representem a natureza sistêmica e dinâmica de decisões relacionadas à avaliação da implementação de AEE. A representação dessa dinâmica por meio do MDAEE não descarta a avaliação por meio das abordagens tradicionais, como VPL, ROI e *Payback*. Entretanto, a viabilidade de representar e projetar diferentes cenários e possibilidades, quando inserida em um estágio anterior à análise tradicional, permite a estimativa de diferentes VPL's, ROI's e PB's sem alterar o conceito base de cada uma dessas abordagens consolidadas na literatura. De maneira geral, o modelo procura representar o comportamento dinâmico e sistêmico de todas as variáveis que influenciam a adoção ou rejeição de uma ou mais tecnologias de eficiência energética.

O terceiro pilar do modelo teórico proposto consiste na adoção de métricas complementares para avaliar o impacto da adoção de AEE, tendo como foco consumidores industriais de pequeno porte. Assim, a utilização das estimativas de Custo de Energia, Intensidade Energética e, principalmente, de Custo de Energia por UEP visam a tornar a visualização dos impactos das diferentes ações mais próxima da realidade de um ambiente fabril.

Assim, nesta proposta, o sistema produtivo é o núcleo da estrutura, o qual apresenta características únicas que devem ser consideradas para elaboração da estrutura geral. A inter-relação desses elementos se configura em um sistema complexo, em que a compreensão do comportamento de cada uma das variáveis permite uma visualização robusta dos impactos da adoção de medidas de eficiência energética, sem limitar a avaliação a indicadores financeiros.

Assim, a estruturação teórica proposta neste estudo visa a sustentar a tese de que a tomada de decisão sobre investimentos em eficiência energética e microgeração distribuída em unidades consumidoras industriais de uso não intensivo

de energia precisa ser suportada por uma compreensão sistêmica. Considera-se que o contexto para decisões como essa seja complexo, configurando um ambiente de incertezas não contemplado pelas abordagens tradicionais de análise de investimento que, eventualmente, subestimam a complexidade desse ambiente para a tomada de decisão.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Pesquisa é uma atividade que se realiza para investigar problemas teóricos ou práticos, empregando métodos científicos. (MARCONI; LAKATOS, 2017). Trata-se de um conjunto de procedimentos sistemáticos, baseados no raciocínio lógico, tendo por objetivo encontrar soluções para problemas propostos mediante a utilização de métodos científicos. (ANDRADE, 2012; MARCONI; LAKATOS, 2017).

Para o desenvolvimento de uma pesquisa científica, é necessário seguir alguns procedimentos que garantam a confiabilidade dos resultados. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). A estrutura de condução desta pesquisa e as razões que justificam as escolhas metodológicas são apresentadas neste capítulo.

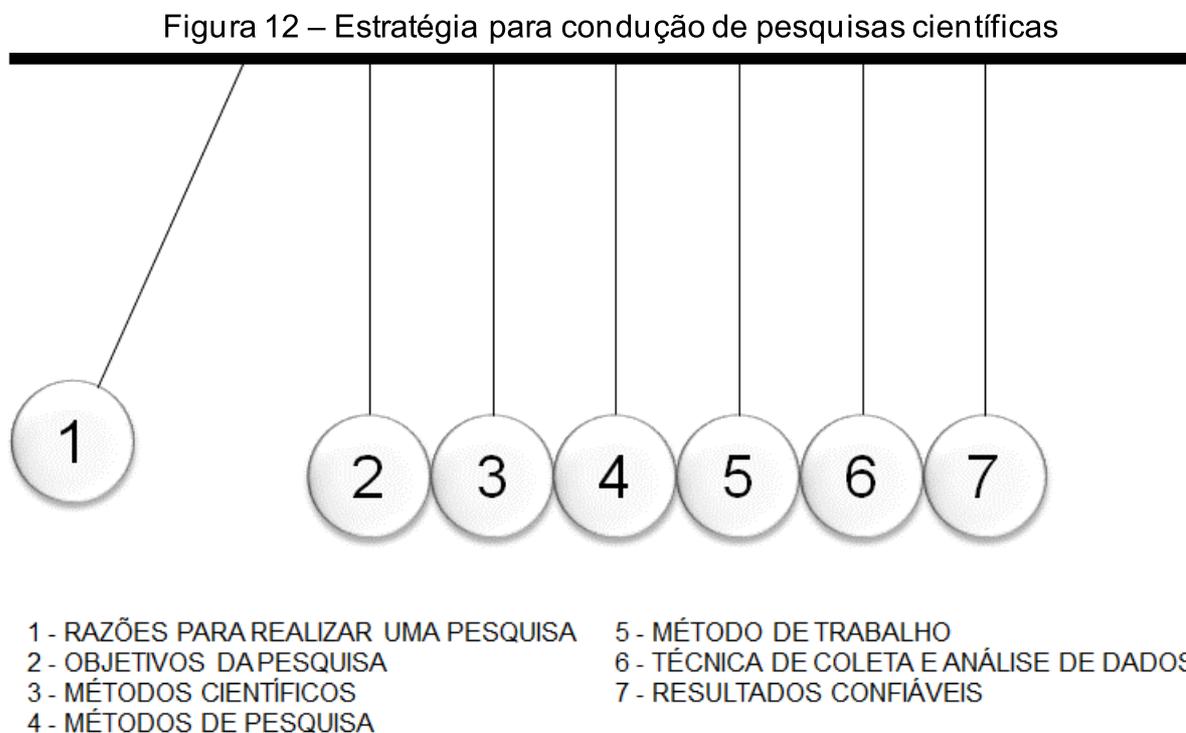
3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O delineamento de uma pesquisa científica está relacionado ao planejamento do estudo em uma visão mais ampla. (YIN, 2015). Dessa forma, o delineamento envolve tanto decisões sobre os métodos de pesquisa que serão utilizados na coleta dos dados quanto detalhamentos em relação à análise dos dados. (ACEVEDO; NOHARA, 2013). A função de um delineamento preciso e claramente descrito no relato da pesquisa também é possibilitar que outros pesquisadores executem o mesmo estudo e cheguem a conclusões semelhantes. (BAPTISTA; CAMPOS, 2015).

As várias finalidades da pesquisa podem ser classificadas em dois grupos: o primeiro reúne as motivações de ordem intelectual, e o segundo as razões de ordem prática. (ANDRADE, 2012). No primeiro caso, o objetivo principal da pesquisa é garantir o progresso científico, sem a preocupação de utilizar o conhecimento gerado na prática. Esse tipo de pesquisa de ordem intelectual e caráter mais teórico é denominado pesquisa básica ou pura. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). No segundo tipo, a pesquisa visa às aplicações práticas, com o objetivo de atender às exigências da vida moderna. (ANDRADE, 2012). Nesse caso, sendo o objetivo contribuir para fins práticos, para a busca de soluções de problemas concretos, denomina-se pesquisa aplicada. Embora distintas, as pesquisas básica e aplicada não são excludentes. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

Para expor a estratégia a ser utilizada no desenvolvimento desta pesquisa, bem como ilustrar as relações de dependência e a necessidade de alinhamento entre cada

uma das etapas percorridas, utiliza-se o pêndulo representativo da condução de pesquisas científicas proposto por Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015), conforme apresentado na Figura 12:



Fonte: Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015).

O processo de pesquisa pode ser motivado pela observação da realidade ou pelo desejo de, com base na literatura e nos conhecimentos prévios, encontrar uma lacuna que sirva como ponto de partida para o estudo. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). De acordo com a Lógica do Pêndulo, além de definir as **razões para a realização da pesquisa**, é necessário estabelecer os **objetivos** que se pretende atingir com a investigação. Sob o ponto de vista dos objetivos, uma pesquisa pode ser classificada como exploratória, descritiva, explicativa (ANDRADE, 2012) e prescritiva. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

Esta pesquisa tem por objetivo explorar um contexto novo e desenvolver um artefato que permita encontrar a solução satisfatória de um problema prático (explorar e prescrever). O detalhamento das razões e dos objetivos foi apresentado no capítulo introdutório deste projeto de pesquisa. As características da classificação da pesquisa de acordo com seus objetivos são descritas no Quadro 11:

Quadro 11 – Características das classificações da pesquisa quanto ao objetivo

Objetivo da pesquisa	Características
Explorar	A pesquisa exploratória é o primeiro passo de todo trabalho científico. São finalidades de uma pesquisa exploratória, sobretudo quando bibliográfica, proporcionar maiores informações sobre determinado assunto; facilitar a delimitação de um tema de trabalho; definir os objetivos ou formular as hipóteses de uma pesquisa ou descobrir novo tipo de enfoque para o trabalho que se tem em mente. Por meio das pesquisas exploratórias, avalia-se a possibilidade de desenvolver um bom estudo sobre determinado assunto. A pesquisa exploratória, na maioria dos casos, constitui um trabalho preliminar ou preparatório para outro tipo de pesquisa. (SAUNDERS; THORNHILL; LEWIS, 2016).
Descrever	Na pesquisa descritiva os fatos são observados, registrados, analisados, classificados e interpretados, sem que o pesquisador interfira neles. Isso significa que os fenômenos do mundo físico e humano são estudados, mas não manipulados pelo pesquisador. Uma das características da pesquisa descritiva é a técnica padronizada da coleta de dados, realizada principalmente por meio de questionários e de observação sistemática. Quando assumem uma forma mais simples, as pesquisas descritivas aproximam-se das exploratórias. Em outros casos, quando, por exemplo, ultrapassam a identificação das relações entre as variáveis, procurando estabelecer a natureza dessas relações, aproximam-se das pesquisas explicativas. (SAUNDERS; THORNHILL; LEWIS, 2016).
Explicar	A pesquisa explicativa é a mais complexa, pois, além de registrar, analisar e interpretar os fenômenos estudados, procura identificar seus fatores determinantes, ou seja, suas causas. A pesquisa explicativa tem por objetivo aprofundar o conhecimento da realidade, procurando a razão, o “porquê” das coisas; por isso, está mais sujeita a cometer erros. Contudo, pode-se afirmar que os resultados das pesquisas explicativas fundamentam o conhecimento científico. A maioria das pesquisas explicativas utiliza o método experimental, que é caracterizado pela manipulação e pelo controle das variáveis, com o objetivo de identificar qual é a variável independente que determina a causa da variável dependente ou do fenômeno em estudo. (SAUNDERS; THORNHILL; LEWIS, 2016).
Predizer	A pesquisa preditiva é empregada quando o objetivo é prever algum tipo de comportamento ou resultado. Em linhas gerais, pesquisas com o objetivo de prever buscam analisar dados relevantes ao longo do tempo, buscando padrões comportamentais e suas variações de acordo com cada contexto, a fim de prever como será o comportamento do objeto de análise no futuro, considerando as condições atuais ou previstas. (SAUNDERS; THORNHILL; LEWIS, 2016).
Prescrever	A pesquisa prescritiva é orientada à solução de problemas. Tem por objetivo projetar e produzir sistemas que ainda não existem e modificar situações existentes para alcançar melhores resultados com foco na solução de problemas. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015)

Fonte: Adaptado de Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015) e Saunders, Thornhill e Lewis (2016).

Em todas as etapas de qualquer pesquisa são assumidas diferentes premissas, consciente ou inconscientemente (SAUNDERS; THORNHILL; LEWIS, 2016). Estas incluem pressupostos sobre o conhecimento humano (epistemológicos), sobre as realidades encontradas na pesquisa (ontológicos) e sobre a extensão e as formas como o conjunto de valores influencia o processo de pesquisa (axiológicos). Por sua vez, essas premissas determinam como são entendidas as questões de pesquisa, quais são

os métodos utilizados e como é realizada a interpretação das descobertas. (SAUNDERS; THORNHILL; LEWIS, 2016).

Nesse ponto, antes de definir os métodos que orientarão a condução desta pesquisa, é necessário declarar que o **pragmatismo** é a filosofia adotada no presente projeto. O pragmatismo argumenta que os conceitos são apenas relevantes quando apoiam a ação, tratando de conciliar objetivismo e subjetivismo, fatos e valores, conhecimento preciso e rigoroso e diferentes experiências contextualizadas. (SAUNDERS; THORNHILL; LEWIS, 2016). Uma síntese das características do pragmatismo, à luz dos pressupostos ontológicos, epistemológicos e axiológicos, é apresentada no Quadro 12.

Quadro 12 – Características do pragmatismo à luz dos pressupostos de pesquisa

Pressupostos de pesquisa	Características do Pragmatismo
Ontologia (natureza da realidade)	A "realidade" é consequência prática das ideias. Complexa, rica, externa. Fluxo de processos, experiências e práticas.
Epistemologia (o que constitui um conhecimento aceitável)	As teorias e o conhecimento "verdadeiros" são aqueles que permitem uma ação bem sucedida. Concentra-se em problemas, práticas e relevância. Significado prático do conhecimento em contextos específicos.
Axiologia (papel dos valores)	Pesquisa iniciada e sustentada pelas dúvidas e crenças do pesquisador. Valores desempenham um grande papel na interpretação de resultados. O pesquisador é reflexivo, e pode adotar uma postura objetiva e/ou subjetiva.
Técnicas de Coleta e Análise de Dados	Ênfase em soluções práticas e resultados, seguindo um problema de pesquisa e uma questão de pesquisa. Método Único (quantitativo ou qualitativo), Métodos Múltiplos (quantitativos ou qualitativos), Métodos Mistos (simples ou complexos).

Fonte: Adaptado de Saunders, Thornhill e Lewis (2016).

O método científico é uma perspectiva ou premissa sobre como o conhecimento é construído e deve levar em conta as razões e os objetivos da pesquisa. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). Nesse sentido, este estudo se adequa ao paradigma da *Design Science* (DSR), conforme justificado no Quadro 13, adotando o Método Abdução como abordagem predominante. No entanto, pesquisas realizadas sob o paradigma da *Design Science* tendem a ser orientadas por mais de um método científico, de acordo com a etapa que está sendo desenvolvida e com o objetivo que se busca alcançar. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). Dessa forma, os métodos dedutivos e indutivos são utilizados de maneira

complementar em algumas etapas do estudo, tendo reconhecidas suas limitações em relação ao paradigma desta pesquisa.

Quadro 13 – Adequação da Design Science aos objetivos da pesquisa

Propósito da Design Science	Problematização e Objetivo desta Pesquisa
“Projetar e produzir sistemas que ainda não existem...”	Proposta de um modelo de avaliação do potencial impacto financeiro de ações de eficiência energética e microgeração distribuída
...e modificar situações existentes...	(com características diferentes dos modelos existentes, considerado as limitações dos modelos atuais)
...para alcançar melhores resultados ...	(a fim de ampliar o limite da racionalidade dos gestores)
...com foco na solução de problemas.”	que contribua para a redução do <i>gap</i> de eficiência energética em unidades consumidoras industriais de uso não intensivo de energia.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Definidas as abordagens científicas, o próximo passo é o detalhamento do método de pesquisa.

3.2 MÉTODO DE PESQUISA

A escolha do método de pesquisa deve ser uma consequência natural das opções feitas anteriormente, devendo estar alinhada com as razões, os objetivos, o paradigma e os pressupostos filosóficos da pesquisa. A utilização do método de pesquisa adequado é fundamental na busca pelo rigor metodológico na condução de estudos científicos. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

O método da *Design Science Research* (DSR) é uma escolha natural, principalmente no que diz respeito aos objetivos da pesquisa e aos resultados esperados. A *design science* é a base epistemológica quando se trata do estudo do que é artificial. A DSR, por sua vez, é o método que fundamenta e operacionaliza a condução da pesquisa quando o objetivo a ser alcançado é um artefato ou uma prescrição. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). Nesse sentido, a DSR busca, a partir do entendimento do problema, construir e avaliar artefatos que permitam transformar situações, alterando suas condições para estados melhores ou desejáveis. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). Isso significa que a DSR é um método de pesquisa orientado à solução de problemas, também utilizada

nos estudos como forma de diminuir o distanciamento entre teoria e prática. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

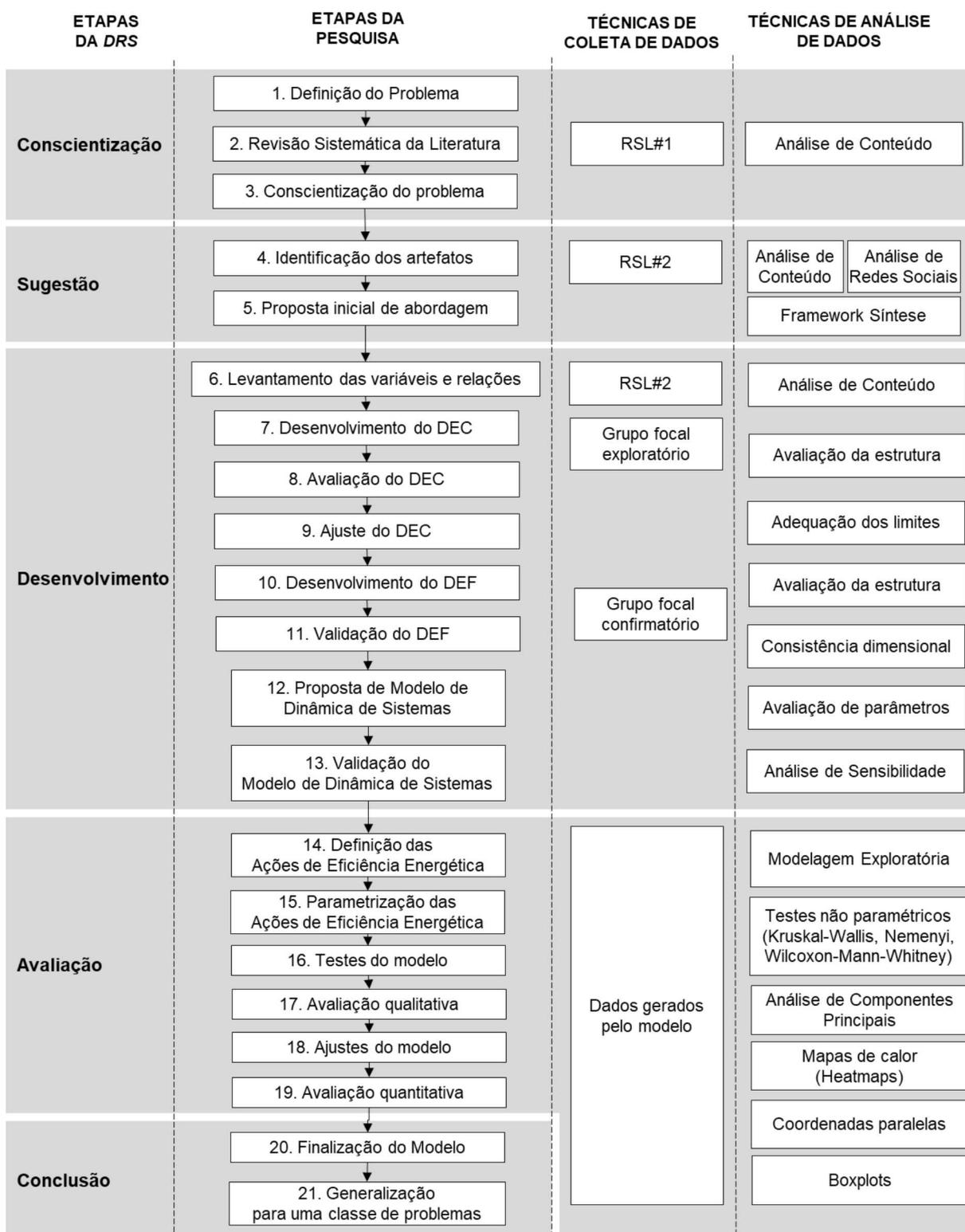
A DSR estuda fenômenos que são mais artificiais do que naturais, sendo mais prescritiva do que descritiva, buscando prescrever maneiras mais efetivas de 'fazer'. Dessa maneira, o pesquisador aprende por meio dos fatos e os compreende por um processo iterativo de construção e circunspeção. A DSR desenvolve conhecimento no serviço da ação, pois sua natureza de pensamento é normativa e sintética – direcionada a situações desejadas, sistemas e síntese na forma de ações atuais. Outro aspecto a ser considerado é a condução da DSR e sua relação com o rigor e a relevância. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). A relevância da pesquisa para as organizações e para a academia no sentido de contribuir para o avanço da ciência é fundamental, conforme destacado no Capítulo 1. Da mesma forma, o rigor também é importante para que uma pesquisa seja considerada válida, confiável e para que possa contribuir para o aumento da base de conhecimento em determinada área. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

3.3 MÉTODO DE TRABALHO

Para evidenciar claramente os procedimentos que são adotados nesta pesquisa e operacionalizar a estrutura metodológica do estudo, a seguir são detalhados o método de trabalho e as etapas a serem desenvolvidas. O método de trabalho está estruturado na proposta para a condução de pesquisas utilizando a DSR e contempla as etapas da DSR, as fases para realização da pesquisa e as técnicas de coleta e de análise de dados. A visão geral da estrutura metodológica está representada na Figura 13.

O método de trabalho tem início com a definição do problema (Etapa 1), neste caso, a necessidade de um artefato para auxiliar na avaliação do impacto da adoção de tecnologias de eficiência energética em ambiente industriais de empresas de uso não intensivo de energia. A partir da identificação do problema, a RSL (Etapa 2) tem como objetivo apresentar o estado da arte sobre o tema, aprofundar a conscientização (Etapa 3) sobre ele e estruturar as bases teóricas que sustentarão a pesquisa. Outra contribuição dessa fase é direcionar a identificação dos artefatos utilizados para tratar questões semelhantes (Etapa 4), permitindo, assim, a elaboração de uma proposta inicial para resolver o problema (Etapa 5) por meio de uma abordagem abdução.

Figura 13 – Método de trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O desenvolvimento do modelo tem início na Etapa 6, com o levantamento das variáveis e o desenvolvimento do Diagrama de Enlace Causal (DEC), na Etapa 7. Nessas etapas, a abordagem utilizada é a dedutiva. A avaliação do DEC é realizada

por meio de um grupo focal exploratório (Etapa 8), formado por pesquisadores de grupos de estudo com amplo conhecimento na área pesquisada. O desenvolvimento do Diagrama de Estoque e Fluxos (DEF), na Etapa 10, bem como a validação (Etapa 11), seguem a mesma lógica do processo realizado no DEC. A proposição do modelo (Etapa 12) e a validação do modelo (Etapa 13) encerram o desenvolvimento da proposta. A avaliação da proposta se inicia com a definição das tecnologias que são consideradas para avaliar e testar o modelo (Etapa 14), as quais são parametrizadas (Etapa 15) de modo a permitir a execução de todos os testes necessários (Etapa 16) para avaliar a consistência do modelo com auxílio de um grupo focal confirmatório (Etapa 17). Para tanto, formou-se um grupo focal mesclando pesquisadores e profissionais ligados ao contexto empresarial. Essa avaliação subsidia os ajustes finais do modelo (Etapa 18) e é concluída com a avaliação quantitativa dos resultados gerados pelo modelo (Etapa 19). Utiliza-se, nessa fase, as técnicas de Análise Multivariada e Modelagem Exploratória.

A conclusão da pesquisa coincide com a finalização do modelo (Etapa 20). Essa etapa tem o objetivo de configurar o modelo no sentido de torná-lo mais robusto, possibilitando sua generalização para uma classe de problemas (Etapa 21).

3.3.1 Desenvolvimento

3.3.1.1 Levantamento das variáveis

As informações macroeconômicas e o panorama energético foram obtidos em consulta à base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), da ANEEL, da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), da Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE) e da Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ABESCO). Os custos de aquisição de equipamentos e de instalação de MGD equivalem aos preços médios praticados no mercado. Os valores de geração média diária de energia foram obtidos no Atlas Solar Global (ESMAP et al., 2019) a partir das coordenadas de localização das empresas. As variáveis utilizadas no modelo são apresentadas detalhadamente no Capítulo 4. Os dados específicos de cada firma necessários para a execução do modelo são contextualizados no Capítulo 5.

3.3.1.2 Construção do Diagrama de Enlace Causal

Para realizar o desenvolvimento completo do DEC foi necessário efetuar duas etapas distintas. Considerando o conhecimento inicial limitado para o desenvolvimento da primeira fase, na Etapa Piloto foi utilizada a abordagem *outside-in*. Na segunda fase, denominada de Etapa de Refinamento, a abordagem escolhida para a modelagem foi a *inside-out*.

O desenvolvimento do DEC em ambas as etapas teve três diferentes pilares de apoio. O primeiro pilar teve caráter teórico/técnico e foi obtido a partir de Revisões Sistemáticas da Literatura. O segundo pilar buscou relacionar os conhecimentos teóricos, técnicos e práticos a partir da experiência de especialistas em engenharia de produção, com ênfase em modelagem de sistemas, bem como de especialistas com ampla vivência na área de energia elétrica. Além da participação consultiva na etapa de elaboração, os especialistas atuaram nos processos de análise e avaliação do DEC. O terceiro pilar se refere aos *insights* do pesquisador. Esse elemento tem como função principal aliar a criatividade ao conhecimento teórico e às informações adquiridas durante as fases anteriores da pesquisa. Destaca-se que, além de conhecimento em engenharia de produção e modelagem de sistemas, o pesquisador possui experiência no setor de energia elétrica. O Quadro 14 apresenta um resumo das atividades da Etapa Piloto, descrita na sequência.

Quadro 14 – Quadro resumo da Etapa Piloto

Atividade	Atores	Abordagem/Técnica
Estratégia de modelagem	Pesquisador	<i>outside-in</i>
Identificação das Variáveis	Pesquisador	RSLv0
Elaboração do DECv0	Pesquisador Especialistas DS1 e DS2	RSLv0 Adequação dos limites (Métodos de Julgamento)
Validação	Especialistas DS1, DS2, DS3, EE1, EE2, EE3 e EE4	Avaliação da estrutura (Métodos de Julgamento)
Desenvolvimento e avaliação do DEF-Piloto	Pesquisador Especialistas DS1, DS2, DS3 e EE1	Consistência dimensional Avaliação de parâmetros Análise de Sensibilidade

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Após a definição da estratégia de modelagem, a primeira fase da Etapa Piloto foi a identificação das variáveis, utilizando como suporte a realização de uma RSL, denominada de RSLv0. Assim, foram verificadas diferentes variáveis ligadas ao assunto focal a partir da RSL, visando a compreender e a representar as relações existentes entre essas variáveis. Dessa forma, foi elaborado o *draft* do DEC, denominado de DECv0. A elaboração do DECv0 contou com o suporte dos especialistas DS1 e DS2.

A validação do DECv0 foi realizada com auxílio do *Microsoft Power Point 2016* em quatro momentos distintos, intercalando as apresentações entre os grupos formados por especialistas em EP/DS (DS1, DS2 e DS3) e especialistas do setor de energia (EE1, EE2, EE3, EE4). Esses especialistas analisaram a estrutura preliminar desenvolvida e contribuíram adicionando variáveis e relações, bem como invalidando algumas estruturas construídas. Essa interação entre validação e desenvolvimento da estrutura foi realizada como forma de aprimoramento do DEC. Isso ocorreu porque os especialistas concordaram e não apontaram mais inconsistências no DEC. A versão validada do DECv0 é apresentada no Apêndice B.

Para auxiliar na compreensão do desenvolvimento do estudo, optou-se por detalhar a construção do DEF na seção 4. Dada a complexidade do DEF e a quantidade de módulos desenvolvidos no modelo, tal escolha visou a manter próximos a forma de construção e o resultado da elaboração.

3.4 TÉCNICAS DE COLETA DE DADOS

Para coletar os dados, foram utilizadas a pesquisa bibliográfica, por meio de RSL, e a técnica de análise documental, por meio de consulta de documentos e dados em bases de livre acesso. Na fase de desenvolvimento da proposta, foi empregada a RSL, com o objetivo de auxiliar no levantamento das variáveis e na elaboração da estrutura sistêmica, e o grupo focal exploratório. Nas etapas finais do desenvolvimento do modelo, o grupo focal confirmatório foi utilizado como técnica de coleta de dados, com o objetivo de obter informações acerca da verificação e da validação do modelo proposto. A fase de avaliação do artefato empregou os dados gerados pelo próprio modelo, além das avaliações elaboradas pelo grupo focal confirmatório.

O grupo focal exploratório tem por objetivo alcançar melhorias incrementais rápidas na criação de artefatos. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). Na fase de desenvolvimento, o grupo focal foi composto por pesquisadores do Grupo

de Pesquisa com ampla experiência no tema. A análise desse grupo visa a fornecer informações que possam ser utilizadas para eventuais mudanças no modelo, bem como preparar o roteiro de análise do grupo focal confirmatório.

A fase de avaliação do artefato iniciou-se com a análise do grupo focal confirmatório, formado por pesquisadores e profissionais ligados à indústria concernente ao tema pesquisado. Essa etapa teve o objetivo de demonstrar a utilidade do modelo desenvolvido no campo de aplicação. Os grupos focais foram importantes para validar os modelos. Entretanto, os resultados das seções estruturadas com os grupos focais auxiliaram, também, no processo de coleta de dados. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

Quadro 15 – Perfil dos especialistas participantes

#	FORMAÇÃO	ATUAÇÃO
DS1	Doutor em <i>Management Sciences - Lancaster University</i> (1994). Mestre em Administração pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1990). Graduado em Administração de Empresas pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1988).	Experiência na área de Gestão e Manufatura de mais de 20 anos, atuando principalmente nos seguintes temas: Gestão Estratégica, Pensamento Sistêmico e Planejamento de Cenários, Pesquisa Operacional, Teoria das Restrições e sincronização da produção e Pensamento Sistêmico.
DS2	Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Graduado em Automação Industrial pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (2009).	Experiência na área de Engenharia de Produção e Logística, com ênfase em Modelagem de Sistemas Produtivos, Simulação Computacional, Planejamento e Controle da Produção, Arranjos Físicos, Ciência dos Dados e Gestão da Produção.
DS3	Doutorando em Engenharia de Produção e Sistemas pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2008). Graduado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1997).	Experiência nas áreas de Análise de Cadeias de Suprimento, Logística, Simulação Discreta por Eventos, Otimização, Dinâmica de Sistemas, Pensamento Sistêmico, Qualidade e Produtividade, Informações Gerenciais e Análise de Investimentos.
EE1	Mestre em Engenharia Elétrica - Instituto de Eletrônica de Potência (INEP) da Universidade Federal de Santa Catarina (1995). Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (1993). Engenheiro RHAE (INEP -1996/1997).	25 anos de experiência como desenvolvedor em P&D na área de energia. Possui 7 anos de experiência como Gerente de P&D de multinacional líder mundial em gestão de energia. Tem experiência na área de Eletrônica de Potência com enfoque em Sistemas Ininterruptos de Energia e conversores estáticos aplicados em energias renováveis e regenerativos.
EE2	Doutorando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2009). Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade do Oeste de Santa Catarina (2007).	Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, em projetos de P&D com ênfase em Eletrônica Industrial, eletrônica de potência, atuando em temas como Correção do Fator de Potência, Geração Distribuída, Conversores Estáticos de Alto Rendimento, Inversores para Conexão com a Rede Elétrica, Sistemas de Controle.
EE3	Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (2009).	Tem experiência na área de Eletrônica, Automação e Controle atuando principalmente nos seguintes temas: Eletrônica Analógica, Processamento de Sinais, Sistemas Embarcados e Controle de Conversores de Potência.
EE4	Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2013). Graduado em Engenharia de Controle e Automação pela Universidade Federal de Santa Catarina (2003).	Possui 12 anos de experiência em projetos de P&D nas áreas de automação de controle para o setor de energia elétrica.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Os perfis dos especialistas que participaram das etapas de elaboração e validação para o desenvolvimento do modelo, detalhados no Quadro 15, foram elaborados com informações extraídas da Plataforma *Lattes*. A escolha desses perfis foi norteadada pela experiência desses profissionais na modelagem de dinâmica de sistemas e pelo conhecimento específico que possuem na área de gestão de energia.

3.5 TÉCNICAS DE ANÁLISE DE DADOS

A modelagem e análise exploratória (EMA) foi utilizada para avaliação final do modelo proposto. Trata-se de uma abordagem que emprega experiências computacionais para analisar questões complexas e incertas. (KWAKKEL; PRUYT, 2013). Essa abordagem foi desenvolvida para suportar decisões baseadas em modelos, tendo como característica a representação explícita do conjunto de modelos plausíveis resultantes do processo de exploração da informação contida em um elevado número de experimentos computacionais e da análise dos resultados dessas experiências. (KWAKKEL; PRUYT, 2013).

A análise de dados quantitativos foi realizada por meio da estatística multivariada. Trata-se de uma técnica utilizada com o objetivo de gerar informações a partir de dados previamente coletados, a fim de orientar a tomada de decisão e gerar conhecimentos acerca de um determinado contexto. (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). Assim, foram desenvolvidas análises descritivas a partir da apresentação de medidas de posição e dispersão das variáveis de resposta. Optou-se por abordagens não paramétricas devido a não normalidade das variáveis de resposta, comprovada via teste de normalidade de Shapiro-Wilk. (SHAPIRO; WILK, 2006).

Para comparar as variáveis de resposta em relação aos diferentes cenários, foi utilizado o teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis* (HOLLANDER; WOLFE; CHICKEN, 2013). Quando necessário, foram realizadas comparações múltiplas via teste de *Nemenyi* (HOLLANDER; WOLFE; CHICKEN, 2013), visando a identificar quais cenários ou categorias se diferenciam entre si. De forma complementar, foi utilizado o teste de *Wilcoxon-Mann-Whitney* (HOLLANDER; WOLFE; CHICKEN, 2013) para comparar as variáveis de resposta. De forma a identificar os relacionamentos existentes entre as variáveis de resposta, foram desenvolvidos Correlogramas, que correspondem a visualizações da matriz de correlação de

Pearson dos dados. Para comparar o comportamento de cada variável de resposta em relação aos Cenários e a cada variável que compõe as ações disponíveis, foram desenvolvidos mapas de calor (*heatmaps*).

A visualização dos relacionamentos, as correlações entre as variáveis e a identificação da localização dos indivíduos dentro dessa estrutura foram observadas com a elaboração de mapas perceptuais via Análise de Componentes Principais (MINGOTI, 2005), sendo que os mapas foram desenvolvidos com relação aos Cenários e Ações de Eficiência Energética. Foram elaborados, também, gráficos de coordenadas paralelas das médias das variáveis de resposta em relação às categorias de cenários e ações para cada uma das empresas que fizeram parte do estudo. Por fim, foram construídos *boxplots* das variáveis de resposta em relação às categorias que representam os cenários e as ações de eficiência energética. Além disso, esses resultados foram individualizados para cada empresa. Quando a escala da variável se modificou significativamente de uma empresa para a outra, os gráficos foram colocados lado a lado, pois, caso contrário, devido à variabilidade de uma empresa, os *boxplots* da outra ficariam suprimidos.

Em relação aos testes de validação de modelos de DS, embora os termos “validação” e “verificação” sejam frequentemente associados a uma das etapas de desenvolvimento de modelos de dinâmica de sistemas, é impossível validar e verificar os modelos. (STERMAN, 2000). Essa impossibilidade de validação e verificação não se limita aos modelos computacionais. Para Sterman (2000), qualquer teoria que se refira ao mundo depende de dados que foram imperfeitamente medidos, bem como de abstrações, agregações e simplificações. As diferenças entre as teorias analíticas e as simulações computacionais são apenas diferenças de nível. (STERMAN, 2000). Como qualquer esforço científico, a modelagem visa a construir uma compreensão compartilhada do mundo que ajude a resolver problemas reais, sendo inevitavelmente um processo de comunicação e persuasão entre modeladores, decisores e outras partes afetadas. (STERMAN, 2000). O reconhecimento da natureza subjetiva da avaliação de modelos não significa que os testes de modelos não sejam científicos. Assim, em vez de se esforçar na tentativa de apresentar evidências de que o modelo é válido, bons modeladores mostram as limitações do modelo para que ele possa ser melhorado e utilizado de maneira adequada. (STERMAN, 2000). O Quadro 16 apresenta perguntas realizadas aos grupos focais visando à avaliação do modelo.

Quadro 16 – Perguntas para avaliar o modelo

Tópico	Questões
Finalidade, adequação e limite	<ul style="list-style-type: none"> • Qual é o propósito do modelo? • Qual é o limite do modelo? • As questões importantes para o propósito são tratadas endogenamente? • Que variáveis e questões importantes são exógenas ou excluídas? • Qual é o horizonte temporal relevante para o problema? • O modelo inclui fatores que podem mudar significativamente ao longo tempo? • O nível de agregação é consistente com o objetivo?
Estruturas Física e Estrutura de tomada de decisão	<ul style="list-style-type: none"> • Todas as equações são consistentes? • A estrutura de estoque e fluxo é explícita e consistente com o propósito do modelo? • O modelo representa a dinâmica de desequilíbrio ou assume que o sistema está sempre em equilíbrio ou próximo dele?
Robustez e Sensibilidade a Pressupostos Alternativos	<ul style="list-style-type: none"> • O modelo é robusto diante de variações extremas nas condições ou políticas de entrada? • As recomendações de políticas são sensíveis a variações plausíveis nos pressupostos, incluindo pressupostos sobre parâmetros, agregação e limites do modelo?

Fonte: Adaptado de Sterman (2000).

Para garantir o rigor do artefato, ao longo do desenvolvimento do DEF optou-se por adotar testes para avaliação do modelo que contemplassem: (i) adequação dos limites, de modo a garantir que os conceitos endógenos e exógenos aos modelos fossem representados adequadamente; (ii) avaliação da estrutura do modelo, garantindo que ela fosse consistente com as informações apuradas e contemplasse adequadamente os comportamento das variáveis consideradas; (iii) consistência dimensional para garantir adequação ao contexto representado; (iv) avaliação de parâmetros, visando a confirmar se os valores estabelecidos são consistentes e coerentes com as características modeladas e; (v) análise de sensibilidade, tendo como objetivo final examinar se as respostas obtidas a partir da execução do modelo são confiáveis e apresentam significância estatística. Os testes escolhidos, bem como as ferramentas e os procedimentos utilizados são apresentados no Quadro 17.

Quadro 17 – Testes para avaliação de modelos dinâmicos

Teste	Objetivo do teste	Ferramentas e Procedimentos
Adequação dos limites	Os conceitos importantes para abordar o problema são endógenos ao modelo? O comportamento do modelo muda significativamente quando os pressupostos de fronteira são desconsiderados? As recomendações de política mudam quando a fronteira do modelo é estendida?	Métodos de julgamento: - Usar gráficos, diagramas de subsistema, diagramas causais, mapas de estoque e fluxo e inspeção direta de equações de modelos. - Realizar entrevistas, workshops para solicitar opiniões de especialistas, materiais de arquivo, revisão de literatura, inspeção/participação direta em processos do sistema.
Avaliação da estrutura	A estrutura do modelo é consistente com o conhecimento descritivo relevante do sistema? O nível de agregação é adequado? O modelo está em conformidade com as leis físicas básicas, como as leis de conservação? As regras de decisão captam o comportamento dos atores do sistema?	Métodos de julgamento: - Usar diagramas de estrutura, diagramas causais, mapas de estoque e fluxo e inspeção direta de equações de modelos. Usar entrevistas, workshops para solicitar opiniões de especialistas, materiais de arquivo, inspeção direta ou participação em processos do sistema.
Consistência dimensional	Cada equação é dimensionalmente consistente sem que o uso de parâmetros tenha significado no mundo real?	Métodos de julgamento: Inspeccionar equações de modelos para parâmetros suspeitos Função "check units" do software Stella®: Utilizar software de análise dimensional.
Avaliação de parâmetros	Os valores dos parâmetros são consistentes com o conhecimento descritivo e numérico relevante do sistema? Todos os parâmetros têm equivalentes no mundo real?	Métodos de julgamento - Usar métodos de julgamento baseados em entrevistas, opiniões de especialistas, grupos focais, materiais de arquivo, experiência direta. Testes parciais do modelo: - Utilizar métodos estatísticos para estimar parâmetros. - Usar testes parciais de modelos para calibrar subsistemas.
Análise de Sensibilidade	Sensibilidade numérica: Fazer com que valores numéricos de análise mudem. Sensibilidade da política: Fazer com que as implicações políticas mudem.	Análise de sensibilidade numérica - Alterar os valores dos parâmetros Análise de sensibilidade da ação - Alterar os valores das políticas e ações - Calcular medidas estatísticas de correspondência entre modelo e dados: estatística descritiva; métodos do domínio do tempo; métodos do domínio da frequência. - Examinar a resposta do modelo para testar entradas, impactos.

Fonte: Adaptado de Sterman (2000).

Este capítulo apresentou os procedimentos metodológicos e o conjunto de etapas percorridas para a realização da pesquisa. O próximo capítulo contém a descrição do desenvolvimento do artefato proposto, apresentando os artefatos gerados após a elaboração das etapas propostas no método de trabalho.

4 DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO

Esta seção descreve as etapas do processo de desenvolvimento do artefato proposto, denominado Modelo Dinâmico das Ações de Eficiência Energética (MDAEE). Inicialmente, apresenta-se as características conceituais e técnicas da Modelagem de Dinâmica de Sistemas consideradas nesta tese, com destaque para o Diagrama de Enlace Causal (DEC) e o Diagrama de Estoque e Fluxo (DEF). Os elementos e pressupostos do modelo conceitual estão descritos e posteriormente são detalhados em cada módulo que compõe o modelo geral.

A conscientização do problema, etapa anterior ao desenvolvimento do artefato, foi realizada por meio de um estudo piloto. Nesse estudo, foram desenvolvidas versões prévias do DEC, chamado DEV0-Piloto, e do DEF, denominado DEF-Piloto. Por serem etapas preparatórias, a descrição completa do processo de elaboração desses diagramas é apresentada no Apêndice B.

Os resultados do DEF-Piloto foram apresentados para os especialistas DS1, DS2 e DS3 em formato de seminário, e para o especialista EE1 em reunião individual, resultando em um conjunto de apontamentos que são resumidos no Quadro 18.

Quadro 18 – Conjunto de apontamentos do DEF-Piloto

Item	Apontamento	Sugestão
Sistema de Compensação de Energia	Não está representado no modelo. Isso impede as análises de impacto regulatório na TUSD.	Detalhar SCE
Representação da Energia	O modelo utiliza Demanda, o que inviabiliza a representação em modalidades tarifárias de BT.	Utilizar Wh
Microgeração Distribuída	Não especifica a fonte de energia.	Considerar o comportamento de Energia Solar Fotovoltaica.
Volume de Produção	Não está representado no modelo.	Representar, pois tem influência no consumo de energia.
Ambiente Externo	Nem todos os fatores que impactam o custo de energia estão representados.	Representar de forma mais detalhadas variáveis que tenham influência no custo de energia.
Revisões Tarifárias	O modelo não representa.	Representar, pois influencia no custo da energia.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A partir dos apontamentos e das sugestões referidas, iniciou-se a segunda fase do desenvolvimento do modelo. Nessa etapa de refinamento, a estratégia de modelagem utilizada foi *inside-out*, assumindo o conhecimento prévio obtido na fase anterior. Nesse estágio, a análise de conteúdo da RSL2 foi utilizada para revisar e agrupar as variáveis, culminando no aprimoramento do DEC, cuja versão final é

apresentada na Figura 14. O resumo das atividades realizadas na etapa de refinamento é apresentado no Quadro 19.

Quadro 19 – Resumo da Etapa de refinamento

Atividade	Atores	Abordagem/Técnica
Estratégia de modelagem	Pesquisador	<i>inside-out</i>
Revisão das Variáveis	Pesquisador	RSL (Análise de Conteúdo)
Aprimoramento do DEC	Pesquisador	RSL (Análise de Conteúdo)
Agrupamento das Variáveis	Pesquisador	RSL (Análise de Conteúdo)
Validação	Especialistas DS2 e EE1	Avaliação da estrutura (Métodos de Julgamento)
Desenvolvimento do DEF	Pesquisador	Detalhada na seção 4.1.3

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A revisão das variáveis e o aprimoramento do DEC foram realizados a partir de análise comparativa dos dados e diagramas que existem com o conteúdo obtido e analisado na RSL, buscando-se confirmar a sustentação teórica de cada variável. Concomitante a essas revisões, foi realizado, de maneira indutiva, o agrupamento das variáveis em 5 grupos, conforme apresentado no Quadro 20.

Quadro 20 – Grupos de variáveis

Grupo	Descrição
1	Variáveis de Conjuntura Energética
2	Barreiras e <i>Drivers</i> externos
3	Ambiente de Distribuição de Energia
4	Ambiente Interno da Firma
5	Ambiente de Eficiência Energética

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Destaca-se que, por utilizar a abordagem *inside-out*, a etapa de refinamento foi predominantemente realizada pelo pesquisador. A validação da versão final do DEC contou com a participação de dois especialistas, tendo como base o Quadro 18 apresentado no método de trabalho.

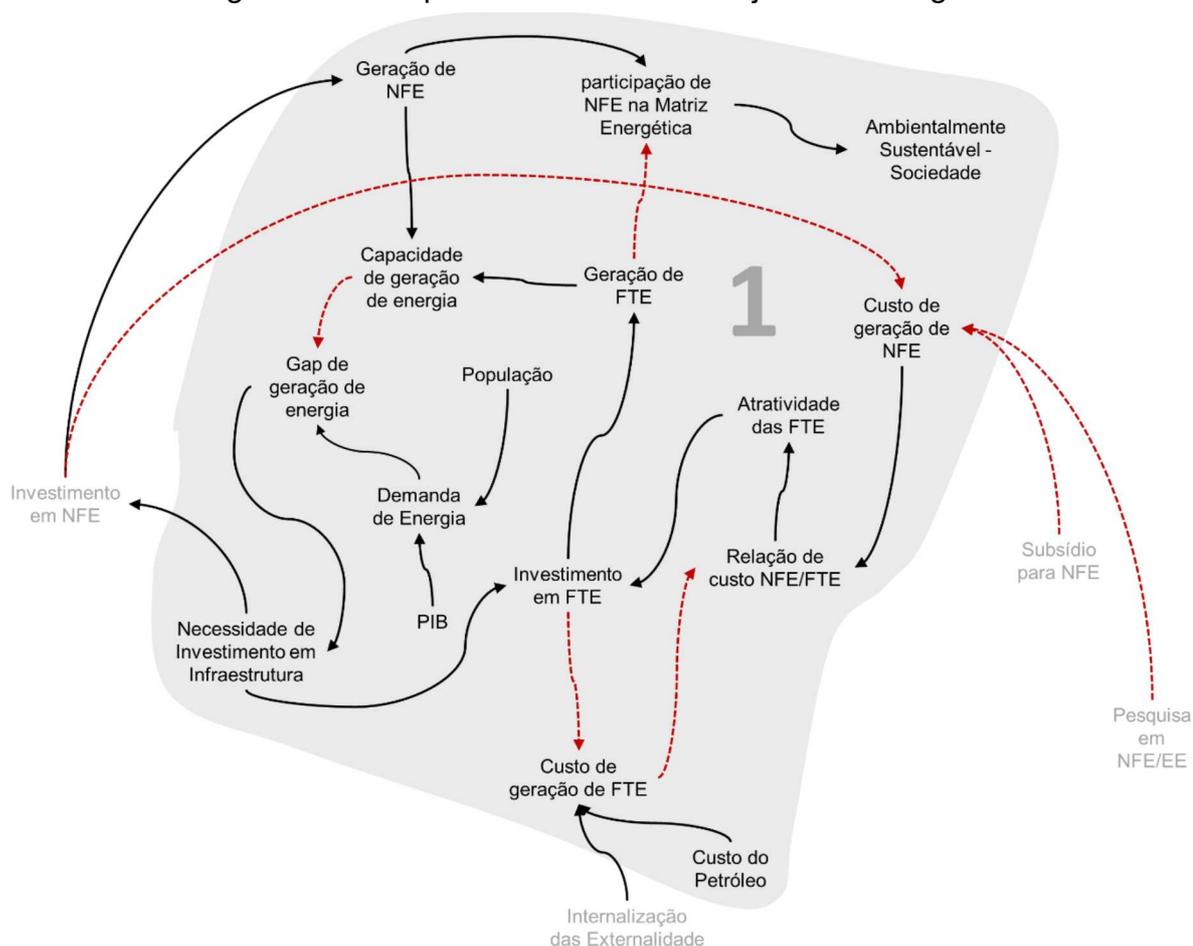
A seguir, são detalhadas as estruturas elaboradas para cada um dos 5 grupos de variáveis, com apresentação das fontes de cada variável, do DEC de cada grupo e da descrição da dinâmica de cada estrutura. O primeiro grupo contempla as variáveis consideradas como conjunturais, externas à firma. Essas variáveis representam, preponderantemente, fatores relacionados ao ambiente macroeconômico e macroenergético, e são apresentadas no Quadro 21. A estrutura desenhada é apresentada na Figura 15.

Quadro 21 – Grupo 1: Variáveis de Conjuntura Energética

VARIÁVEL	FONTE
Custo de geração de NFE	FIRJAN, 2017
Custo de geração de FTE	BUNSE et al., 2011; CASSETTARI et al., 2017
Custo do Petróleo	FIRJAN, 2017
Demanda de Energia	ALCORTA et al., 2014; APLAK; SOGUT, 2013; BHANOT; RAO; DESHMUKH, 2017; CASSETTARI et al., 2017; DONG; HUO, 2017; FRESNER et al., 2017; HENRIQUES; CATARINO, 2016; KARLSSON, 2011; MAY et al., 2015, 2018; OLANREWAJU; JIMOH, 2014; PARAMONOVA; THOLLANDER, 2016; SÁENZ et al., 2012; SCHULZE et al., 2016.
Ambientalmente Sustentável - Sociedade	BUNSE et al., 2011; DELBEKE; VIS, 2015
PIB	FIRJAN, 2017
Geração de NFE	HORSCHIG; THRÂN, 2017; SUDHAKARA REDDY, 2013; TWIDELL; WEIR, 2015
Investimento em FTE	ALCORTA et al., 2014
Necessidade de Investimento em Infraestrutura	ALCORTA et al., 2014; SUDHAKARA REDDY, 2013
Participação de NFE na Matriz Energética	ALCORTA et al., 2014; DELBEKE; VIS, 2015; HORSCHIG; THRÂN, 2017; SUDHAKARA REDDY, 2013
Relação de custo NFE/FTE	O AUTOR, 2019
População	APLAK; SOGUT, 2013
Capacidade de geração de energia	KIM et al., 2015; LANDINI; DE MELLO SANT'ANA, 2017; SÁENZ et al., 2012
Gap de geração de energia	SÁENZ et al., 2012
Atratividade das FTE	ALCORTA et al., 2014; APLAK; SOGUT, 2013; BEATY; FINK, 2007; CASSETTARI et al., 2017; DONG; HUO, 2017; KIM et al., 2015; ZHANG et al., 2017
Geração de NFE	ALCORTA et al., 2014; APLAK; SOGUT, 2013; BEATY; FINK, 2007; CASSETTARI et al., 2017; DONG; HUO, 2017; KIM et al., 2015; ZHANG et al., 2017

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 15 – Grupo 1: Variáveis de Conjuntura Energética



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Inicia-se com duas variáveis de entrada: População e PIB. Quanto maior é a População e o PIB, maior será a Demanda de Energia. Por sua vez, a Demanda de Energia relacionada com a Capacidade de Geração de Energia resulta em um *Gap* de Geração de Energia. Esse *Gap* de Geração de Energia incide em uma maior Necessidade de Investimento em Infraestrutura de Energia. Quanto maior é essa necessidade de investimento, maior é o Investimento em Novas Fontes de Energia (NFE). Se o Investimento em NFE aumentar, pressupõe-se que crescerá a Geração de NFE, elevando, assim, a Capacidade de Geração de Energia. O aumento da Capacidade de Geração de Energia pode reduzir o *Gap* Geração de Energia, fechando, dessa forma, o primeiro enlace balanceador.

O investimento em NFE também influencia o custo de geração de NFE. Esse custo, relacionado com o custo de geração de Fontes Tradicionais de Energia (FTE), permite representar a atratividade das FTE que, por sua vez, têm relação positiva com o Investimento em FTE, fechando um enlace reforçador. Com mais Investimento em

NFE, diminui o Custo Médio de Geração de NFE. Quanto menor é esse custo, maior é a Relação Custo e Geração de NFE/FTE. Quanto maior é essa relação, maior é a Atratividade de FTE. Quanto mais atratividade, maior será o investimento em Energia não renovável (ENR). Por outro lado, quanto maior é a geração de FTE, menor é a Participação de NFE na Matriz energética, o que torna uma sociedade ambientalmente menos sustentável. Quanto menos sustentável é a sociedade, maior é a pressão por uma sociedade sustentável.

O segundo grupo contempla as variáveis classificadas como barreiras e *drivers*. Estas são apresentadas no Quadro 22. O DEC desse grupo de variáveis é ilustrado na Figura 16.

Quadro 22 – Grupo 2: Barreiras e *Drivers* externos

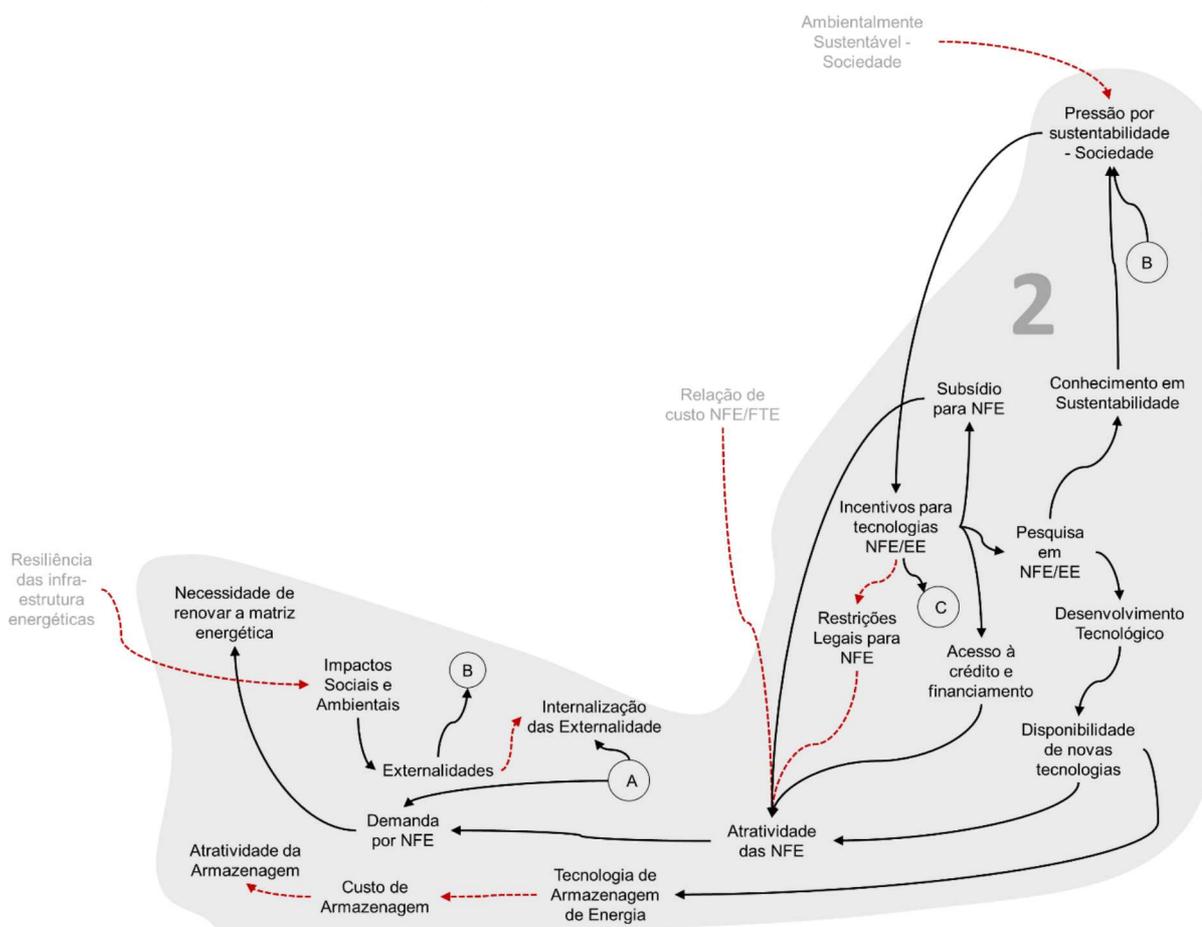
VARIÁVEL	FONTE
Acesso à crédito e financiamento	ALCORTA et al., 2014; BUNSE et al., 2011; COOREMANS, 2011, 2012; DONG; HUO, 2017; TRIANNI et al., 2017
Disponibilidade de novas tecnologias	SUDHAKARA REDDY, 2013
Demanda por NFE	BUNSE et al., 2011; DELBEKE; VIS, 2015; SUDHAKARA REDDY, 2013; KIM et al., 2015
Externalidades	BUNSE et al., 2011; TRAPP, 2015
Incentivos para tecnologias NFE/EE	LANDINI; DE MELLO SANTANA, 2017
Internalização das Externalidade	BUNSE et al., 2011; TRAPP, 2015
Conhecimento em Sustentabilidade	BUNSE et al., 2011; DELBEKE; VIS, 2015; SUDHAKARA REDDY, 2013
Restrições Legais para NFE	LANDINI; DE MELLO SANTANA, 2017
Necessidade de renovar a matriz energética	SUDHAKARA REDDY, 2013
Atratividade das NFE	SUDHAKARA REDDY, 2013
Subsídio para NFE	SUDHAKARA REDDY, 2013
Atratividade da Armazenagem	RAHMANN et al., 2017
Pressão por sustentabilidade (Sociedade)	BUNSE et al., 2011; DELBEKE; VIS, 2015
Pesquisa em NFE/EE	DELBEKE; VIS, 2015; LANDINI; DE MELLO SANTANA, 2017
Impactos Sociais e Ambientais	SUDHAKARA REDDY, 2013
Custo de Armazenagem	RAHMANN et al., 2017; SAENZ et al., 2012
Tecnologia de Armazenagem de Energia	RAHMANN et al., 2017; SAENZ et al., 2012
Desenvolvimento Tecnológico	BHANOT; RAO; DESHMUKH, 2017; DONG; HUO, 2017; HORSCHIG; THRÄN, 2017; KIM et al., 2015; MAY et al., 2018; OLANREWaju; JIMOH, 2014; SUDHAKARA REDDY, 2013

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Inicialmente, parte-se da influência de uma sociedade ambientalmente sustentável. Por exemplo, se um país adota políticas que se direcionam a medidas ambientalmente sustentáveis, há um aumento da pressão por sustentabilidade. Assim, a sociedade passa a exigir ações do governo nesse sentido, o que fomenta os incentivos governamentais e subsídios para a utilização de NFE e EE e para a redução

de restrições legais e regulatórias. Outras ações de incentivo podem envolver direcionamento de pesquisas em NFE e EE, o que pode estimular o desenvolvimento tecnológico e a disponibilidade de novas tecnologias. A divulgação de novas pesquisas tende a aumentar o conhecimento em sustentabilidade, fechando um enlace reforçador.

Figura 16 – Grupo 2: Barreiras e *Drivers* externos



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O acesso à créditos e financiamentos também tende a aumentar em cenários de incentivo. Tais ações reforçam a atratividade das NFE, gerando mais demanda por NFE. Um exemplo é o mercado de energia solar brasileiro, que teve um crescimento exponencial a partir da adoção de medidas semelhantes às descritas. A alta demanda por NFE leva a uma necessidade de renovação da matriz energética. Dentre as novas tecnologias disponíveis, o DEC destaca a armazenagem de energia. Esta ainda apresenta alto custo, mas tende a repetir o comportamento de outras tecnologias que passaram a ter valores mais acessíveis e se tornaram mais atrativas na medida em que aumentou sua disponibilidade. Por fim, quanto mais resilientes forem as

infraestruturas energéticas, menores serão os impactos sociais e ambientais, reduzindo-se as externalidades.

O grupo 3 representa as variáveis relacionadas ao contexto das empresas distribuidoras de energia elétrica, as chamadas ESCO. A relação das variáveis é apresentada no Quadro 23. O DEC desse grupo de variáveis é explicitado na Figura 17.

Quadro 23 – Grupo 3: Ambiente de Distribuição de Energia

VARIÁVEL	FONTE
Cumprimento dos requisitos legais de qualidade energética	LANDINI; DE MELLO SANTANA, 2017
Geração distribuída	EPE, 2017; LANDINI; DE MELLO SANTANA, 2017
Preço da Energia Elétrica	FIRJAN, 2017
Estresse da rede elétrica	SUDHAKARA REDDY, 2013
Perdas (distribuição e multas)	MARTINS; MOURA, 2005; VACCARO; MARTINS; MENEZES, 2011
Custos de manutenção	SUDHAKARA REDDY, 2013
Confiabilidade da Rede	SUDHAKARA REDDY, 2013
Qualidade da Energia	SUDHAKARA REDDY, 2013; VACCARO; MARTINS; MENEZES, 2011
Resiliência das infraestruturas energéticas	Ji; WEI; POOR, 2017
Custos de distribuição	SUDHAKARA REDDY, 2013
Uso da Tecnologia <i>SmartGrid</i>	RAHMANN et al., 2017

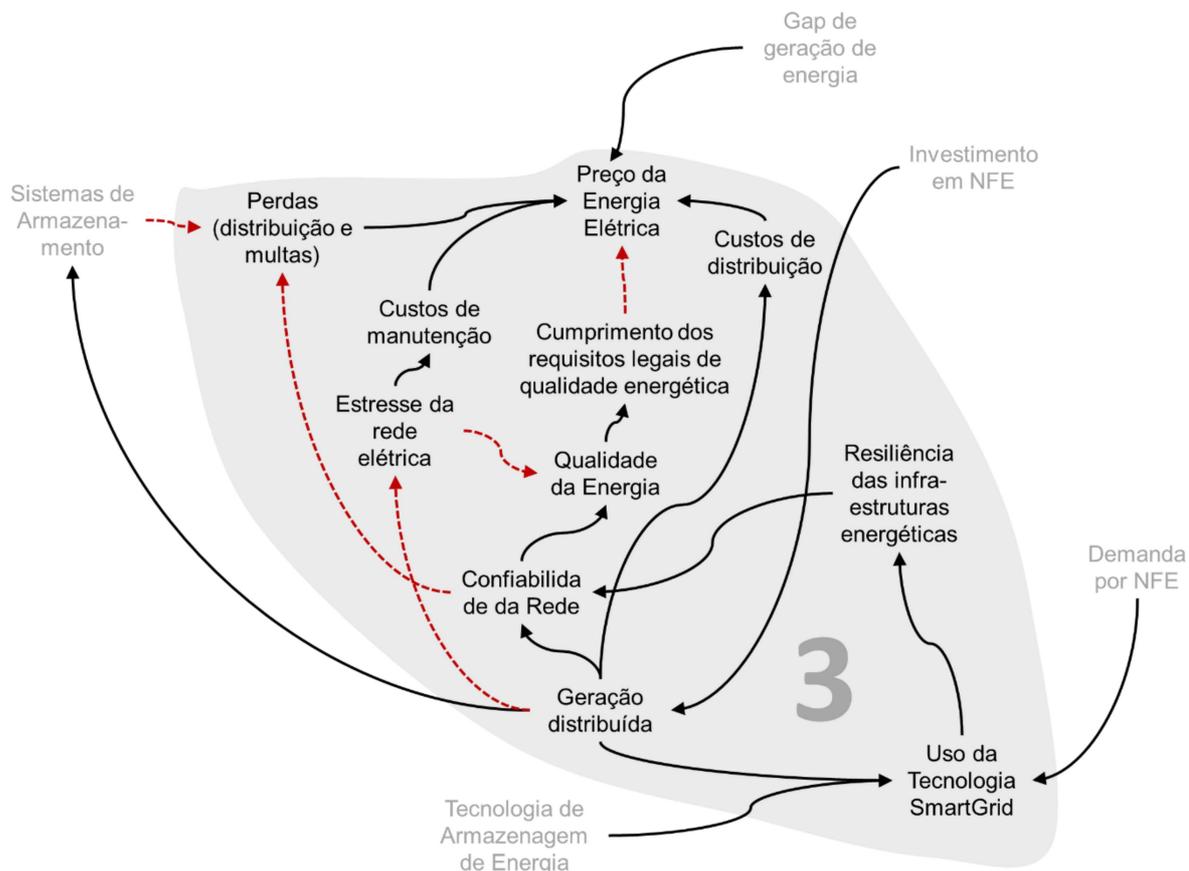
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A variável central desse grupo é o Preço da Energia Elétrica. A variável está diretamente relacionada ao *Gap* de geração de energia, representado no contexto energético pelo modelo de bandeiras tarifárias. Quando maior é esse *gap*, maior é o preço da energia. Os custos de distribuição também são afetados pela capacidade instalada. Apesar de ser contraintuitivo, na estrutura regulatória atual do Brasil, quanto maior é a capacidade instalada de geração distribuída, mais elevados são os custos de distribuição para quem não gera sua própria energia. Entretanto, a geração distribuída tende a aumentar a confiabilidade da rede, refletindo no aumento da qualidade de energia. Quanto melhor é o desempenho da ESCO, mais a empresa atende às normas de qualidade, o que pode resultar na redução do preço de energia.

Outras variáveis influenciadas pela geração distribuída são a confiabilidade da rede e os sistemas de armazenamento (diretamente proporcionais), assim como o estresse da rede. No caso deste último, quanto maior é a geração distribuída, menor é o estresse da rede. Isso pode ocorrer pela redução da demanda de compra de energia e pela melhor distribuição dos centros de carga. A redução do estresse da

rede tende a reduzir os custos de manutenção e, conseqüentemente, o preço da energia elétrica.

Figura 17 – Grupo 3: Ambiente de Distribuição de Energia



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Uma rede mais confiável tende a ter menos perdas, melhorando o desempenho do sistema e reduzindo o preço de energia. Por fim, o uso da tecnologia *SmartGrid* tem impacto positivo na resiliência das infraestruturas energéticas, aumentando a confiabilidade da rede e fechando um enlace reforçador.

O quarto grupo de variáveis identificadas representa o ambiente interno da Firma. A relação das variáveis é apresentada no Quadro 24. O DEC desse grupo de variáveis é explanado na Figura 18.

Quadro 24 – Grupo 4: Ambiente Interno da Firma

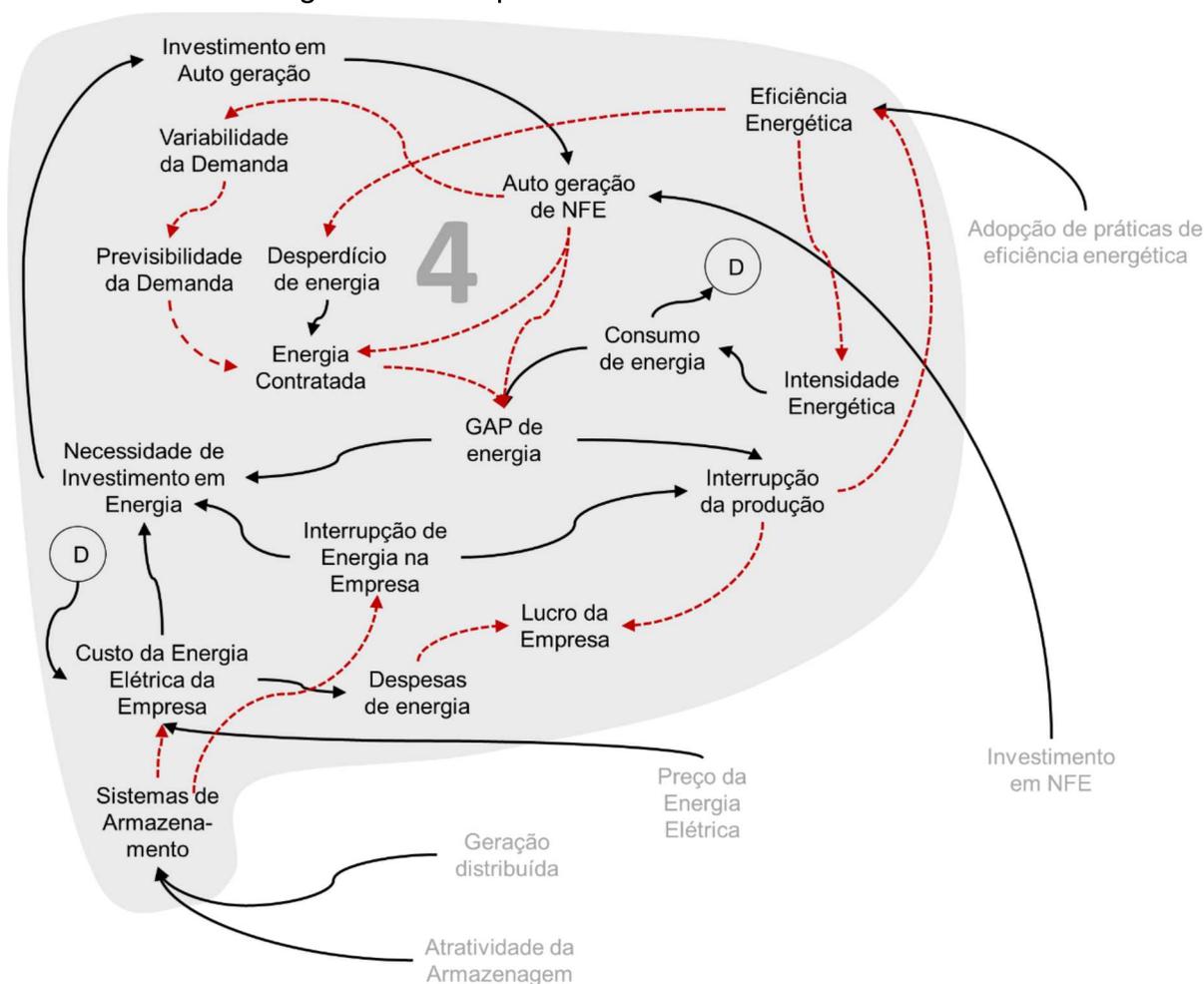
VARIÁVEL	FONTE
Company Profit	ZENG et al., 2015
Contracted Energy	BUNSE et al., 2011
Custo da Energia Elétrica da Empresa	FIRJAN, 2017
Variabilidade da Demanda	KARLSSON, 2011
GAP de energia	CASSETTARI et al., 2017
Eficiência Energética	BUNSE et al., 2011; COOREMANS, 2012; PERRONI et al., 2015, 2017; SUDHAKARA REDDY, 2013
Despesas de energia	SUDHAKARA REDDY, 2013
Interrupção de Energia na Empresa	JI; WEI; POOR, 2017; MARTINS; CARBONARI, 2005
Investimento em autogeração	LANDINI; DE MELLO SANTANA, 2017
Necessidade de Investimento em Energia	SUDHAKARA REDDY, 2013
Autogeração de NFE	CASSETTARI et al., 2017; LANDINI; DE MELLO SANTANA, 2017
Sistemas de Armazenamento	RAHMANN et al., 2017
Consumo de energia	EPE, 2017, 2019; FRESNER et al., 2017
Variabilidade da Demanda	CASSETTARI et al., 2017
Interrupção da produção	ZENG et al., 2015
Desperdício de energia	APLAK; SOGUT, 2013; BUNSE et al., 2011; OLANREWAJU; JIMOH, 2014; PALM; THOLLANDER, 2010; ZENG et al., 2015

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O preço de energia elétrica, conforme descrito no grupo 3, tem influência direta no custo de energia para a empresa. Quanto maior é o custo de energia, maiores são as despesas com energia. O aumento de despesas com energia reduz a lucratividade da empresa. Por outro caminho, o alto custo de energia para a empresa pode demandar a necessidade de investimentos. Por exemplo, um alto custo de energia comprada pode aumentar a necessidade de investimento em energia, vislumbrando outras fontes energia, dentre elas o investimento em autogeração de novas fontes de energia. Por sua vez, quanto maior é a autogeração, menor é a variabilidade da demanda, o que aumenta a previsibilidade da demanda. Quanto mais previsível é a demanda, menor pode ser o total de energia contratada. Naturalmente, tanto a diminuição do total de energia contratada quanto o aumento da quantidade de energia gerada internamente reduzem o *gap* de energia.

As interrupções no fornecimento de energia podem ser minimizadas com o uso de sistemas de armazenamento de energia, pois esses recursos cumprem a função de fornecer energia quando o abastecimento externo é interrompido. Por fim, o aumento da eficiência energética reduz tanto o desperdício de energia quanto a intensidade energética.

Figura 18 – Grupo 4: Ambiente Interno da Firma



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O grupo 5 representa, de forma ampla, a influência das variáveis de outros grupos em relação à adoção de ações de eficiência energética no ambiente. O conjunto de variáveis é apresentado no Quadro 25, e o DEC é ilustrado na Figura 19.

Observa-se que tanto a disponibilidade de novas tecnologias quanto os incentivos em tecnologia de EE têm relação direta com o investimento em eficiência energética. Assim, quanto maior é o investimento em eficiência energética, maior é a adoção de ações de eficiência energética. Por outro lado, quanto maior é o desperdício de energia e o preço dessa energia, maior é a demanda por eficiência energética.

Quadro 25 – Grupo 5: Ambiente de Eficiência Energética

VARIÁVEL	FONTE
Demanda por eficiência energética	BUNSE et al., 2011; COOREMANS, 2012; HORSCHIG; THRÄN, 2017; PERRONI et al., 2015, 2017; SUDHAKARA REDDY, 2013
Adoção de ações de eficiência energética	ALCORTA et al., 2014; BHANOT; RAO; DESHMUKH, 2017; BUNSE et al., 2011; COOREMANS, 2011, 2012; FRESNER et al., 2017; HENRIQUES; CATARINO, 2016; KNOBLOCH; MERCURE, 2016; NEHLER; RASMUSSEN, 2016; PUSNIK et al., 2016; RASMUSSEN, 2017; SCHULZE et al., 2016; TRIANNI et al., 2017; TRIANNI; CAGNO; DE DONATIS, 2014; TRIANNI; CAGNO; NERI, 2017
Investimento em Eficiência Energética	ALCORTA et al., 2014; BHANOT; RAO; DESHMUKH, 2017; BUNSE et al., 2011; COOREMANS, 2011, 2012; FRESNER et al., 2017; HENRIQUES; CATARINO, 2016; KNOBLOCH; MERCURE, 2016; NEHLER; RASMUSSEN, 2016; PUSNIK et al., 2016; RASMUSSEN, 2017; SCHULZE et al., 2016; TRIANNI et al., 2017; TRIANNI; CAGNO; DE DONATIS, 2014; TRIANNI; CAGNO; NERI, 2017
Investimento em NFE	ANEEL, 2016a; APLAK; SOGUT, 2013; CASSETTARI et al., 2017; KIM et al., 2015; QUERALT; JOSEPH, 2016

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Embora esteja isolado na representação da Figura 19, o investimento em NFE aparece como variável central no modelo completo, interligando todos os demais grupos de variáveis, conforme pode ser observado na Figura 14.

Figura 19 – Grupo 5: Ambiente de Eficiência Energética



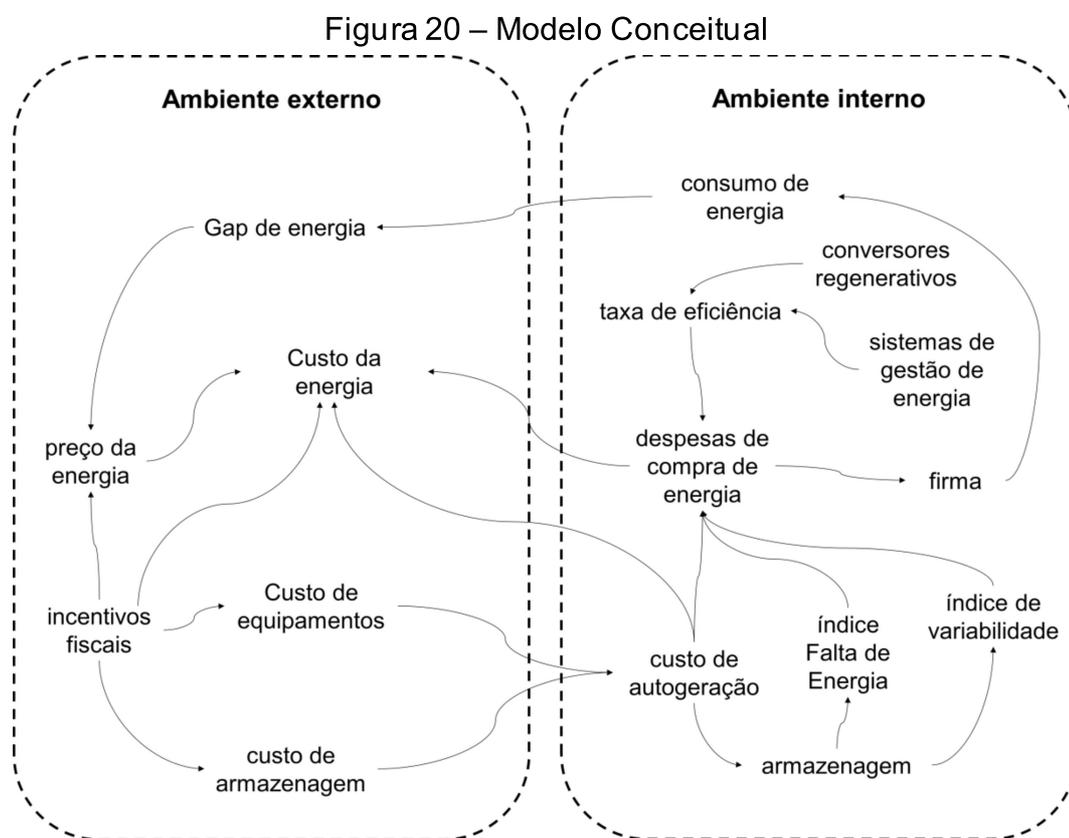
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Depois de construída a versão final do DEC, a próxima etapa foi desenvolver o modelo conceitual.

4.1 MODELO CONCEITUAL

O modelo conceitual deve ser capaz de comunicar o que será implementado de uma maneira clara, funcionando como uma ponte entre o analista e o

desenvolvedor. (LIU et al., 2011; PACE, 2000; ROBINSON, 2006). Ele é necessário para simplificar a complexidade, viabilizando o desenvolvimento do modelo de dinâmica de sistemas. Além disso, o modelo não abrange a totalidade do DEC, pois algumas relações não estão diretamente ligadas ao objetivo do modelo ou a sua relação subjetiva não permite dimensionar o impacto existente entre as variáveis. O desenvolvimento do modelo conceitual consistiu na consolidação de todas as partes, bem como no relacionamento das partes relevantes em um formato simplificado, conforme especificado na Figura 20.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Inicia-se o modelo definindo um sistema a ser analisado. Esse sistema necessita de energia para funcionar, a fim de prover produtos ou serviços para a demanda que inerentemente contém variabilidade. O sistema analisado pode ser uma empresa particular ou mesmo um sistema energético particular referente à área de atuação de uma concessionária. Pode, ainda, optar entre gerar energia ou contratá-la do mercado externo.

Uma vez que o sistema opte pela contratação de energia externa, assume-se a possibilidade de ineficiência e perda de qualidade de energia e, além disso, de falta de

energia, uma vez que esta deve passar por um sistema logístico de entrega instável. Em outras palavras, o sistema logístico pode não ter alto nível de confiabilidade e estar sujeito a impactos externos, o que causaria a falta de energia no sistema alimentado. Esse tipo de consequência pode fazer com que o sistema não entregue o produto ou serviço ao cliente, gerando perdas ou deixando de gerar ganho.

Esse sistema pode gerar energia a partir de NFE, possibilitando a opção de armazenagem. Tal tipo de tecnologia, na prática, utiliza um banco de baterias que funcionam como um “estoque de energia”, amortecendo problemas relativos à variabilidade da demanda, como situações de falta de energia. A qualidade da energia também é melhorada, pois se aumenta a confiabilidade de fornecimento.

O governo atua como mediador na viabilidade de cada uma das alternativas, podendo conceder incentivos, seja sob a forma de pesquisa ou de subsídio para alavancar fontes de energia. Isso ocorre porque o sistema energético é um recurso estratégico para o planejamento de longo prazo do país.

4.2 CONSTRUÇÃO DO MODELO (DEF)

Utilizando uma abordagem *inside-out*, a modelagem do DEF foi estruturada inicialmente a partir do DEC revisado após o estudo piloto, contemplando o conjunto de apontamentos resumidos no Quadro 18. Elementos quantitativos foram incorporados ao longo da modelagem de acordo com a natureza de cada processo modelado, e o comportamento de cada variável foi modelado utilizando o DEF em 10 módulos distintos:

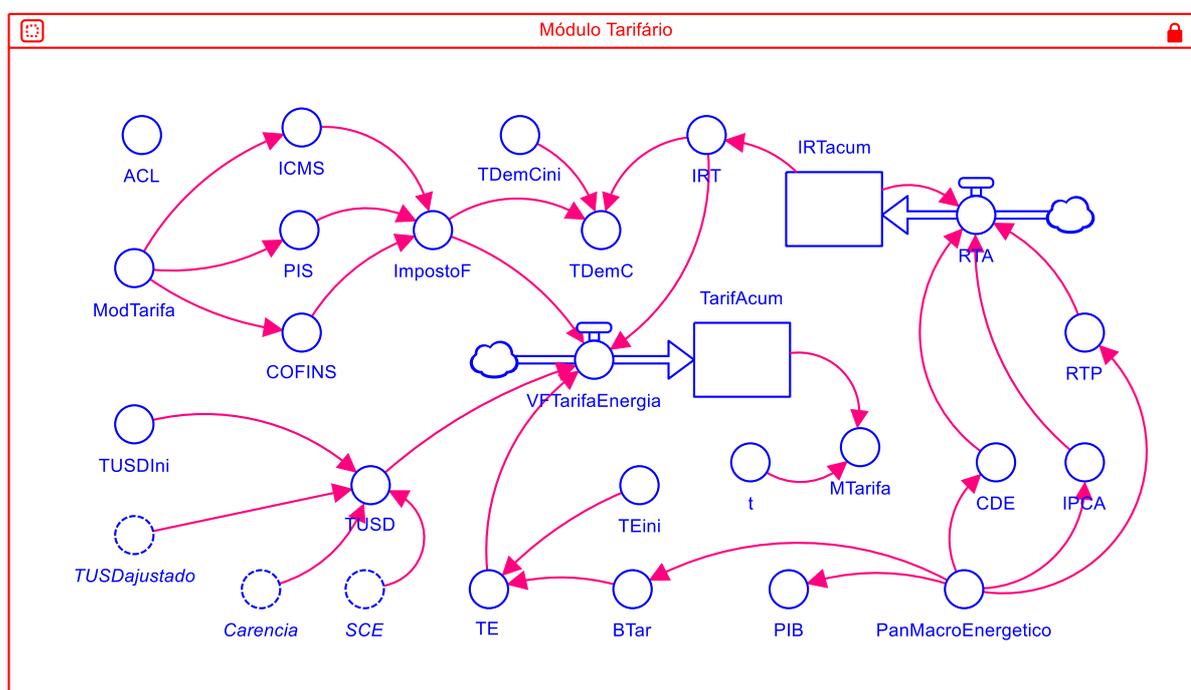
- Módulo Tarifário
- Módulo Sistema de Compensação
- Módulo Microgeração Distribuída
- Módulo Sistema de Armazenamento de Energia
- Módulo Ações de Eficiência Energética
- Módulo Firma
- Módulo CAPEX
- Módulo OPEX
- Módulo Intensidade Energética
- Módulo Parâmetros e Decisões

A seguir, apresenta-se o DEF de cada módulo e descreve-se o processo de construção e as características de cada uma das variáveis.

4.2.1 Módulo Tarifário

O Módulo Tarifário (ModTar), apresentado na Figura 21, tem como função representar a dinâmica de variação do Valor da Tarifa de Compra de Energia. Em um ambiente real, esse valor é calculado considerando fatores relacionados à infraestrutura de geração, transmissão e distribuição, bem como aspectos econômicos de incentivo à modicidade tarifária e sinalização do mercado. Para representar a influência desses fatores, foram modelados separadamente o custo da tarifa de energia elétrica (TE), a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), a incidência de impostos e a variação de indicadores que representam o panorama macroenergético.

Figura 21 – Módulo Tarifário



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A TE considera o valor referente à parcela da geração de energia, não contemplando os custos referentes ao serviço prestado pela distribuidora de energia elétrica. Para consumidores do mercado cativo, as fontes de geração não podem ser escolhidas, e o custo pode variar de acordo com a fonte utilizada. O mecanismo de

Bandeira Tarifária visa a representar a variação desses custos de acordo com a fonte de geração utilizada. Por exemplo, em épocas em que o nível dos reservatórios das Usinas Hidrelétricas (UHE) está baixo, é necessário utilizar energia de usinas termoelétricas a um custo mais elevado. Nesse caso, a TE entra na modalidade vermelha e sofre acréscimo de R\$ 60,00 a cada MWh consumido. Na tarifa amarela, o valor acrescentado é de R\$ 15,00. Quando o nível dos reservatórios está normal, não há acréscimo, sendo adotada a tarifa verde. A bandeira tarifária é definida pelo governo em conjunto com as agências reguladoras e com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (NOS).

O custo do uso da estrutura de distribuição de energia elétrica é representado pela TUSD. Essa tarifa visa a remunerar os custos de operação das distribuidoras de energia elétrica, assumindo que essas empresas cumprem a função de elo entre a geração de energia e o consumidor final. A TUSD vem sendo objeto de ampla discussão tendo em vista as recentes mudanças na matriz energética, principalmente no que tange aos critérios adotados pelo SCE do Brasil para microgeração distribuída. Pela legislação atual, a TUSD não incide sobre a energia gerada para autoconsumo, o que vem sendo questionado pelas distribuidoras. A dinâmica do SCE é detalhada em um módulo específico do modelo.

Além dos valores da TE e TUSD, este módulo representa os reajustes tarifários anuais e periódicos. Na RTA incidem as variações do IPCA e do CDE. Além dos reajustes anuais, a cada 4 anos as distribuidoras passam pelo processo de RTP, com o objetivo de redefinir o nível das tarifas e preservar o equilíbrio econômico-financeiro da concessão. Assim, é calculado o Índice de Reajuste Tarifário (IRT), contemplando o percentual total a ser reajustado nas tarifas. O valor final da tarifa de energia elétrica é obtido pela soma de TE e TUSD, considerando o IRT e a incidência de todos os impostos, conforme representado na seguinte fórmula:

$$VFTE = (TE + TUSD) * (1 + ICMS + PIS + COFINS) * IRT \quad (6)$$

A equação 6 representa a principal informação de saída do ModTar. A descrição de todos os elementos utilizados neste módulo é apresentada no Quadro 26.

ELEMENTO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	TIPO
<i>MTarifa</i>	Valor Médio da Tarifa de Compra	R\$/MWh	Variável
<i>VFTarifaEnergia</i>	Valor da Tarifa de Compra de Energia	R\$/MWh	Variável
<i>TDemC</i>	Tarifa da Demanda Contratada	R\$/MW	Variável
<i>TE</i>	Tarifa de Energia	R\$/MWh	Variável
<i>TUSD</i>	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição	R\$/MWh	Variável
<i>ACL</i>	Ambiente de Contratação Livre	adimensional	Parâmetro
<i>ModTarifa</i>	Modalidade Tarifária	adimensional	Parâmetro
<i>PanMacroEnergetico</i>	Panorama Macroenergético	adimensional	Parâmetro
<i>BTar</i>	Bandeira Tarifária	R\$/MWh	Incerteza
<i>CDE</i>	Conta de Desenvolvimento Energético	%	Incerteza
<i>COFINS</i>	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social	%	Incerteza
<i>ICMS</i>	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços	%	Incerteza
<i>ImpostoF</i>	Alíquota final de Impostos	%	Incerteza
<i>IPCA</i>	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo	%	Incerteza
<i>IRT</i>	Índice de Reajuste Tarifário	%	Incerteza
<i>IRTacum</i>	Índice de Reajuste Tarifário Acumulado	%	Incerteza
<i>PIB</i>	Produto Interno Bruto	%	Incerteza
<i>PIS</i>	Programa de Integração Social	%	Incerteza
<i>RTA</i>	Reajuste Tarifário Anual	%	Incerteza
<i>RTP</i>	Revisão Tarifária Periódica	%	Incerteza
<i>TDemCini</i>	Tarifa Inicial da Demanda Contratada	R\$/MW	Dado
<i>TEini</i>	Tarifa Inicial de Energia	R\$/MWh	Dado
<i>TUSDini</i>	Tarifa Inicial de Uso do sistema de distribuição	R\$/MWh	Dado
<i>t</i>	Tempo	anos	Auxiliar
<i>TarifAcum</i>	Valor acumulado da Tarifa	R\$/MWh	Auxiliar

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.2.2 Módulo Sistema de Compensação

O Módulo Sistema de Compensação de Energia (ModSCE) busca representar os impactos do sistema adotado pela unidade consumidora (UC) para injetar a energia ativa excedente da microgeração distribuída na rede da distribuidora de energia.

Nesse sistema adotado no Brasil, também conhecido pela expressão em inglês *net metering*, a energia é cedida por meio de empréstimo gratuito e, posteriormente, compensada com o consumo de energia elétrica ativa. (ANEEL, 2012b). Nesse procedimento, a UC de energia elétrica instala pequenos geradores, tais como painéis solares fotovoltaicos, e a energia gerada é usada para abater o consumo de energia elétrica da unidade. Quando a microgeração é maior do que o consumo, o saldo de energia pode ser utilizado para abater o consumo em até 60 meses.

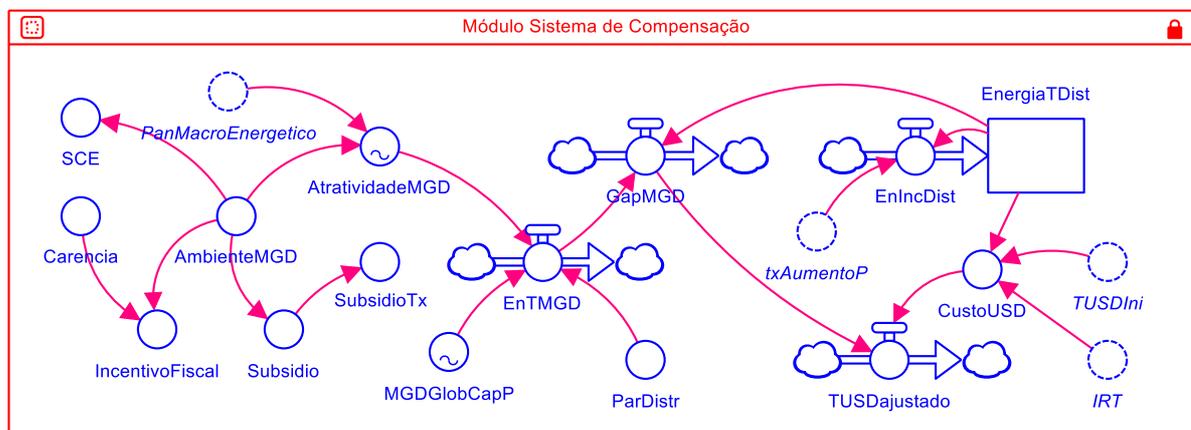
A adoção do SCE impactou diretamente na aceleração da implantação de sistemas de MGD, pois criou condições altamente favoráveis aos consumidores. Dados apresentados pela ANEEL mostram que a potência efetivamente instalada de GD tem sido consistentemente superior às projeções, com atenção para o ano de 2017, em que a potência foi superior a 68% da projeção. (ANEEL, 2018). Entretanto, esse aumento da capacidade instalada de GD, combinado com as características do SCE adotado no Brasil, pode resultar em um fenômeno denominado na literatura de “Espiral da Morte das Distribuidoras”. (GIANELLONI et al., 2017).

Conforme apresentado no ModTar, o custo da energia envolve a remuneração da parcela de geração (TE), somada aos custos de transporte dessa energia, nesta tese representados pela TUSD. Assim, a distribuidora de energia elétrica obtém receita somente com a cobrança do uso do sistema, e não com a energia vendida. Como o SCE permite o abatimento do consumo de energia e o uso de créditos da energia excedente oriunda da GD, a receita das distribuidoras tende a reduzir, podendo-se chegar à incapacidade de manutenção da estrutura existente. Uma possível reação seria aumentar a TUSD de modo a manter a receita igual ou maior do que a atual. A consequência sistêmica dessa ação seria uma migração ainda maior para GD, tendo em vista os altos custos da energia vendida pela distribuidora. Dado à natureza complexa desse problema, a ANEEL instaurou, em maio de 2018, a Análise de Impacto Regulatório (AIR), com o objetivo principal de apresentar uma proposta de metodologia sobre a forma de compensação da energia gerada pela GD. A publicação dos resultados da AIR está prevista para dezembro de 2019.

Para ilustrar o contexto apresentado, o ModSCE, apresentado na Figura 22, considera que um ambiente pouco atrativo para MGD resulta em projeções mais baixas de capacidade instalada de GD no Brasil para os próximos 20 anos. Por outro lado, um ambiente muito atrativo faz com que o modelo represente projeções mais

altas de capacidade instalada de GD. Os limites mínimo e máximo dessas projeções foram obtidos a partir de consultas a documentos e relatórios da ANEEL.

Figura 22 – Módulo Sistemas de Compensação de Energia



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A partir das projeções de MGD no Brasil, é possível apurar a parcela da distribuidora de energia com base nos dados publicados pela ANEEL. Assim, tem-se uma projeção de capacidade instalada de MGD na área de concessão da distribuidora de energia e, conseqüentemente, uma estimativa do total de energia vendida, descontando a energia da MGD. Essa projeção específica é utilizada para calcular o ajuste da TUSD, partindo da premissa de que a receita oriunda dessa tarifa é obtida pela energia vendida, e não pela energia gerada por MGD. Assim, parte-se do pressuposto de que os consumidores remanescentes, aqueles que não adotam MGD, têm de remunerar os custos de operação da distribuidora de acordo com a legislação atual. O valor ajustado da TUSD, considerando o custo fixo projetado para uso do sistema de distribuição e a demanda de energia vendida pela distribuidora variável, é apurado conforme a fórmula a seguir:

$$TUSDajustado = CustoUSD / (GapMGD) \quad (7)$$

A descrição dos elementos utilizados neste módulo é apresentada no Quadro 27.

Quadro 27 – Elementos do Módulo SCE

ELEMENTO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	TIPO
<i>AmbienteMGD</i>	Ambiente para utilização de MGD	adimensional	Parâmetro

ELEMENTO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	TIPO
<i>AtratividadeMGD</i>	Atratividade do mercado de MGD	adimensional	Parâmetro
<i>Carencia</i>	Tempo de carência para manutenção de incentivos	anos	Parâmetro
<i>EnIncDist</i>	Incremento anual de Energia vendida pela Distribuidora	GWh	Variável
<i>EnergiaTDist</i>	Energia Total vendida pela Distribuidora	GWh	Variável
<i>EnTMGD</i>	Energia Total de MGD	GWh	Variável
<i>GapMDG</i>	Parcela de energia excluindo a MGD	GWh	Variável
<i>IncentivoFiscal</i>	Incentivos Fiscais	adimensional	Parâmetro
<i>MGDGlobCapP</i>	Projeção de Capacidade Instalada de MGD	GWp	Dado
<i>ParDistr</i>	Parcela da Distribuidora na Projeção de Capacidade Instalada de MGD	%	Dado
<i>CustoUSD</i>	Custo estimado do uso do sistema de distribuição	R\$	Variável
<i>SCE</i>	Sistema de Compensação de Energia	adimensional	Parâmetro
<i>Subsidio</i>	Tipo de subsídios que serão considerados	%	Incerteza
<i>SubsidioTx</i>	Taxa de subsídio	%	Incerteza
<i>TUSDajustado</i>	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição ajustado	R\$/MWh	Variável

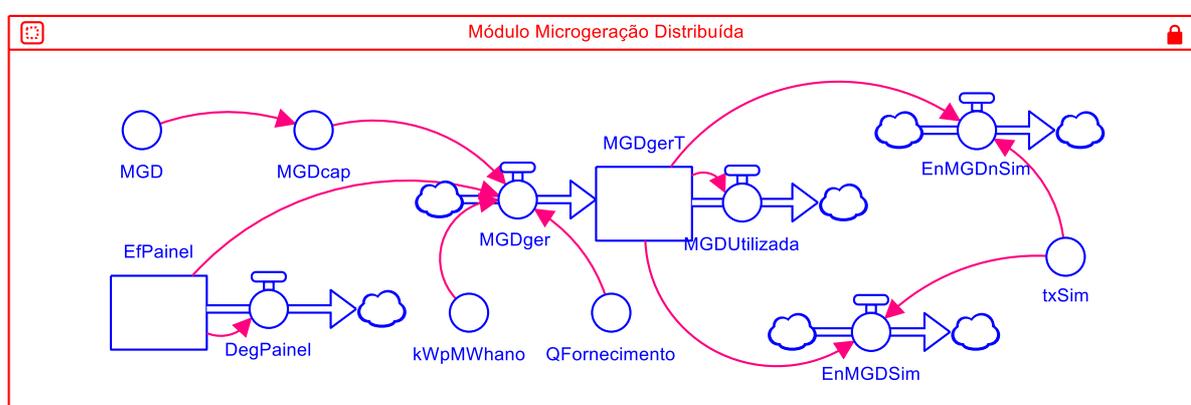
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.2.3 Módulo Microgeração Distribuída

A geração distribuída tem como principal característica a instalação de geradores de energia localizados próximos aos centros de consumo de energia elétrica. (ANEEL, 2016b). Segundo a legislação atual, é permitido o uso de qualquer fonte renovável. Denomina-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada de até 75 quilowatts (KW), conectada à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. (ANEEL, 2016b). A minigeração distribuída é aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW. (ANEEL, 2016b). A ANEEL reconhece diferentes tipos de centrais geradoras para GD, tais como Usinas Fotovoltaicas (UFV), Central Geradora Hidrelétrica (CGH), Usinas Termelétricas (UTE) e Usinas Eólioelétricas (EOL). Atualmente, as UFV representam 99,63% das unidades consumidoras com GD, sendo responsáveis por 86,50% da capacidade instalada de GD no Brasil (ANEEL, 2018). Dessa forma, embora se reconheça a possibilidade de diferentes fontes de energia, considera-se neste módulo somente o uso de UFV, apresentando características específicas e exclusivas desse tipo de geração.

O ponto central deste módulo, conforme Figura 23, é projetar a quantidade de energia elétrica gerada a partir da capacidade instalada na UFV. Essa capacidade instalada é expressa em kilowatt-pico (kWp), e a energia gerada (MWh) leva em conta fatores como a eficiência, a degradação dos painéis solares e a qualidade de fornecimento da distribuidora, visto tratar-se de um sistema *on-grid*. Outra característica que é pouco explorada nas projeções de economia de energia e que tem influência importante para consumidores industriais é a chamada taxa de simultaneidade.

Figura 23 – Módulo Microgeração Distribuída



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A energia gerada pela UFV parte da premissa do consumo instantâneo ou da disponibilização da energia para a distribuidora de energia. Para exemplificar, uma empresa que tem expediente entre segunda-feira e sexta-feira (e, por consequência, concentra o consumo de energia elétrica nesses dias), necessariamente tem que injetar a energia gerada nos finais de semana, pois não consome esse montante. Portanto, levando-se em conta os 5 dias úteis da semana, a taxa de simultaneidade pode ser considerada igual a $5/7$. Isso significa que aproximadamente 70% da energia pode ser consumida imediatamente após a geração, e o restante pode ser injetado na rede da distribuidora ou armazenado em baterias. Naturalmente, o comportamento diário (ou horário) de carga influencia a taxa de simultaneidade, pois nem sempre a quantidade de energia gerada coincide com a demanda de energia imediata. Entretanto, a representação do comportamento de carga nesse nível de detalhamento demandaria outras abordagens de modelagem, as quais estão fora do escopo deste modelo.

Para estimar o montante de energia gerada a partir da MGD ao longo de um ano, foram considerados valores da base do Atlas Solar Global, usando a ferramenta Solargis (ESMAP et al., 2019). A representação temporal dos dados relacionados ao potencial de energia fotovoltaica para a região das Américas compreende um período de coleta de dados de janeiro de 1994 até dezembro de 2015, com resolução temporal do recurso solar variando entre 10 a 30 minutos. (ESMAP et al., 2019). O sistema Solargis processa dados de satélites da *European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites* (EUMETSAT), da *Japan Meteorological Agency* (JMA) e da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), com satélites geoestacionários operando em cinco posições-chave. Os dados sobre a temperatura do ar são derivados dos modelos meteorológicos *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) e *Coupled Forecast System Model version 2* (CFSv2) e estão disponíveis no intervalo de tempo de uma hora. (ESMAP et al., 2019). Assim, os dados de recursos solares, potencial de energia fotovoltaica e temperatura do ar são agregados em longo prazo em médias anuais. A simulação de energia fotovoltaica é baseada no uso de dados de 15 minutos de recursos solares e temperatura do ar recalculados e estatisticamente agregados, de modo a se formar uma base confiável e consistente em termos de espaço e tempo. (ESMAP et al., 2019).

Como as projeções do Solargis são para um ano, e a projeção do modelo proposto contempla um horizonte de 20 anos, foi necessário considerar a degradação anual dos painéis solares. Isso é preciso porque os problemas devidos à degradação dos módulos fotovoltaicos e à perda de potência causada pelo acúmulo de pó podem influenciar a confiabilidade e o tempo de vida do sistema. A garantia padrão de eficiência de um painel solar é de 25 anos funcionando com 80% de seu desempenho original, o que equivale a uma degradação de 1% ao ano.

Para modelar a qualidade do fornecimento, foi considerada a duração de interrupção individual por unidade consumidora (DIC). Esse indicador representa o intervalo de tempo em que, no período de apuração, em cada unidade consumidora ou ponto de conexão, ocorreu descontinuidade da distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2019). Esse é um fator negligenciado nas estimativas, que muitas vezes deixam de considerar que as UFV *on-grid* só geram energia em situações de continuidade do fornecimento externo. Em caso de interrupção de fornecimento, a UC fica sem energia e não pode gerar a partir da UFV, configurando uma perda de potencial.

As principais variáveis de saída deste módulo são as quantidades anuais de energia gerada, a energia gerada não simultânea ao consumo e a energia gerada simultânea ao consumo, representadas pelas seguintes equações:

$$\text{MGDger} = \text{MGDcap} * \text{EfPainel} * \text{kWpMWhano} * \text{QFornecimento} \quad (8)$$

$$\text{EnMGDSim} = \text{MGDgerT} * \text{txSim} \quad (9)$$

$$\text{EnMGDnSim} = \text{MGDgerT} * (1 - \text{txSim}) \quad (10)$$

A descrição dos elementos utilizados neste módulo é apresentada no Quadro 28.

Quadro 28 – Elementos do Módulo MGD

ELEMENTO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	TIPO
DegPainel	Taxa de Degradação dos Painéis Fotovoltaicos	%	Dado
EfPainel	Eficiência dos Painéis Fotovoltaicos	%	Dado
EnMGDnSim	Energia Gerada não simultânea ao consumo	MWh	Variável
EnMGDSim	Energia Gerada simultânea ao consumo	MWh	Variável
kWpMWhano	Fator de transformação de kW para MWh ano	adimensional	Auxiliar
MGD	Capacidade Instalada de MGD	KWp	Ação
MGDcap	Capacidade Instalada de MGD	KWp	Auxiliar
MGDger	Total de energia gerada	MWh	Variável
MGDgerT	Energia Gerada a partir de MGD	MWh	Variável
MGDUtilizada	Energia Utilizada de MGD	MWh	Variável
txSim	Taxa de Simulataneidade	%	Parâmetro
Qfornecimento	Índice de continuidade do fornecimento de energia elétrica	%	Dado

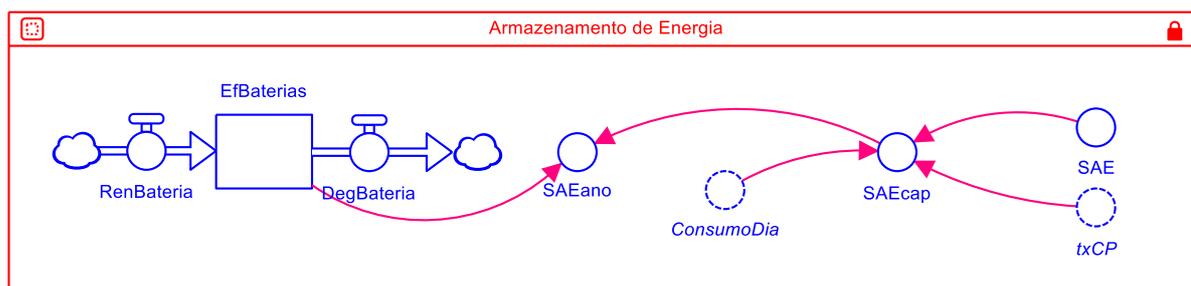
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.2.4 Módulo Sistema de Armazenamento de Energia

Os Sistemas de Armazenamento de Energia (SAE) podem assumir um papel importante na unificação, distribuição e ampliação da capacidade dos sistemas de GD. (SILVA; BORTONI, 2016). Os SAE podem atuar intermediando fontes e cargas variáveis, “movendo” energia através do tempo, fazendo com que a energia gerada

em um dado momento possa ser utilizada em outro. Nos sistemas geradores intermitentes (não despacháveis), como solares ou eólicos, os SAE têm um comportamento semelhante a um *buffer*, proporcionando suprimento contínuo de potência mesmo durante os períodos de baixa produção ou indisponibilidade da fonte primária. (BUENO; BRANDÃO, 2016). Embora existam diversas tecnologias de armazenamento, como ar comprimido, bombeamento hidráulico, supercondutores, volantes de inércia e hidrogênio (SILVA; BORTONI, 2016), este módulo representa o comportamento dos SAE na forma elétrica, utilizando baterias estacionárias (também conhecidas como baterias de ciclo profundo). Ao contrário das baterias automotivas, que são projetadas para liberar uma grande quantidade de carga no momento da ignição, as baterias estacionárias são construídas para receber carga constante e liberar a energia de maneira uniforme.

Figura 24 – Módulo Sistema de Armazenamento de Energia

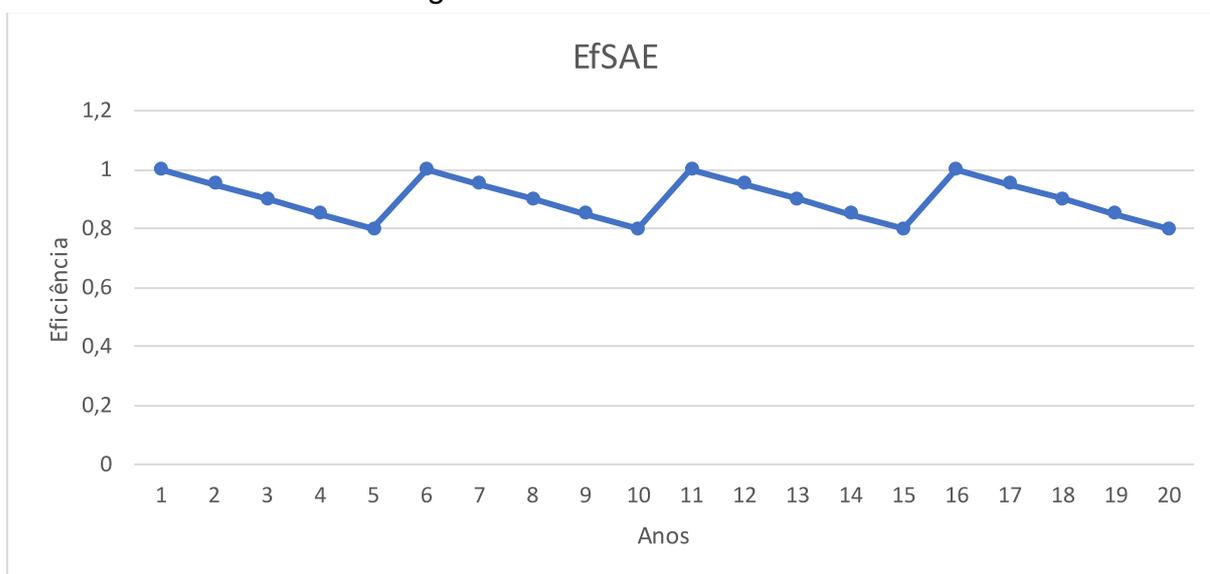


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O Módulo Sistema de Armazenamento de Energia (ModSAE) estima a capacidade necessária do SAE para suprir o consumo diário em horário de pico, conforme apresentado na Figura 24. A autonomia do fornecimento de energia está relacionada à capacidade de armazenamento de energia do SAE, neste modelo expressa em kWh. (SOLENERG, 2019). A forma mais comum de expressar a capacidade de baterias é em Ah (Ampére-hora), pois essa unidade de energia quantifica a corrente elétrica que se pode tirar em determinado tempo da bateria, considerando-se condições específicas de descarga, temperatura e tensão mínima. (SOLENERG, 2019). Entretanto, como este modelo visa a estimar o comportamento do SAE ao longo de 20 anos, as condições mais relevantes são a capacidade de armazenamento ao longo do tempo, a vida útil, o rendimento e a profundidade de descarga das baterias. A vida útil considerada foi de 5 anos, conforme especificação dos fornecedores. Assim, o SAE tem uma eficiência inicial de 100%, e sofre uma

degradação absoluta de 5% ao ano. Ao final de 5 anos, é realizada uma manutenção no banco de baterias, restaurando a eficiência para 100%, conforme representado na Figura 25.

Figura 25 – Eficiência do SAE



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A profundidade de descarga representa o percentual máximo de descarga permitido das baterias sem que haja danificação irreversível do equipamento. Assim, para manter uma eficiência mínima de 80% ao longo de 5 anos, a profundidade de descarga considerada foi de 50%. A principal variável de saída deste módulo é a quantidade de energia disponibilizada ao sistema pelo SAE ao longo do ano, o que é representado pela equação a seguir.

$$SAE_{ano} = SAECap * EfBaterias * 365/1000 \quad (11)$$

A descrição dos elementos utilizados neste módulo é apresentada no Quadro 29.

Quadro 29 – Elementos do Módulo SAE

ELEMENTO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	TIPO
DegBateria	Degradação das Baterias	%	Dado
EfBaterias	Eficiência das Baterias	%	Dado
RenBateria	Incremento de Rendimento após manutenção	%	Dado

ELEMENTO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	TIPO
SAE	Sistema de Armazenagem de Energia	adimensional	Ação
SAEano	Energia disponibilizada pelo SAE por ano	MWh	Variável
SAEcap	Capacidade do SAE	KW	Variável

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.2.5 Módulo Ações de Eficiência Energética

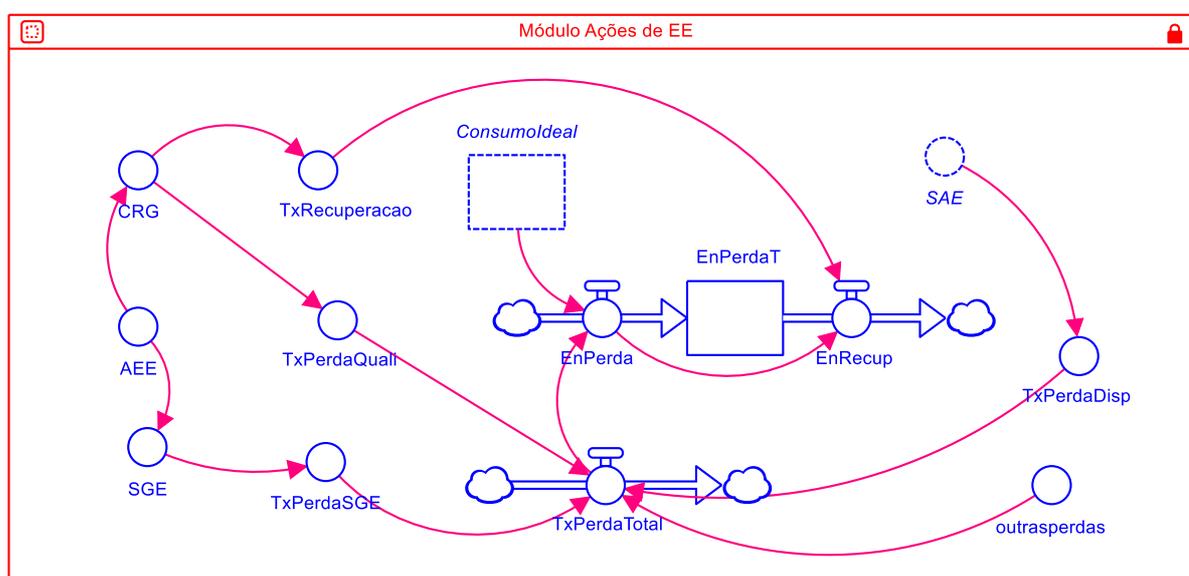
Este módulo representa o impacto das AEE nas taxas de perdas consideradas no sistema, conforme apresentado na Figura 26. Para construção do Módulo Ações de Eficiência Energética (ModAEE), foi estimado um percentual total de perdas de eficiência energética, tendo como base valores apontados na literatura e dados coletados nas empresas. O total percentual de perdas foi separado em três grupos: perdas por indisponibilidade do sistema, perdas pela qualidade do fornecimento de energia elétrica e perdas relacionadas à gestão de energia na empresa. O ModAEE reconhece a existência de outras perdas e as considera, mas não representa o impacto das AEE nessas perdas não exploradas.

O comportamento do CRG foi modelado a partir de dados coletados no projeto piloto realizado na Empresa A. O processo produtivo dessa empresa realiza testes em conversores eletrônicos, sendo que fontes de tensão e de baterias são comumente conectadas em cargas resistivas comutadas ou em cargas eletrônicas não regenerativas, situação em que toda a energia dos testes é desperdiçada. (PEDROSO, 2010). Nesse caso, o CRG pode se comportar como carga durante a etapa de testes, permitindo o retorno de parte da energia para a rede elétrica, eliminando perdas de energia não transformada em trabalho efetivo. Os dados coletados na empresa mostram um potencial de recuperação de até 30% dessa energia. Outros impactos podem ser vislumbrados ao considerar a possibilidade de conectar CRG a fontes de energia intermitentes (ex: fotovoltaica), dentre eles, a entrega de energia com menos distúrbios do que a realizada pela distribuidora. Assim, o CRG impacta a recuperação de energia e evita possíveis perdas resultantes da qualidade do fornecimento de energia.

A adoção de um Sistema de Gestão de Energia (SGE) considera evitar um total de 5% de perdas. Esse percentual é o valor mínimo reconhecido pela Norma Brasileira de Regulação (NBR) ISO 50001:2011, que visa ao estabelecimento de sistemas e

processos necessários para melhorar o desempenho energético, incluindo a eficiência energética. Embora não detalhadas neste módulo, as principais ações relacionadas ao SGE envolvem práticas como o desenvolvimento de uma política para uso mais eficiente da energia, a fixação de metas e objetivos para atender a essa política e a utilização de dados para melhor compreender e tomar decisões sobre o uso de energia (LIRA; SALGADO; BEIJO, 2019). O efeito dessas práticas é representado pela redução da taxa de perda relacionada à gestão de energia.

Figura 26 – Módulo Ações de Eficiência Energética



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O SAE tem influência direta na taxa de perdas por disponibilidade do sistema, conforme características detalhadas no ModSAE. Para determinar o fluxo anual de energia perdida, é utilizada a seguinte equação:

$$\text{EnPerda} = (\text{ConsumoIdeal} / (1 - \text{TxPerdaTotal}) * \text{TxPerdaTotal} \quad (12)$$

A parcela de energia perdida que pode ser recuperada é expressa pela equação:

$$\text{EnRecup} = \text{EnPerda} * \text{TxRecuperacao} \quad (13)$$

A descrição dos elementos utilizados neste módulo é apresentada no Quadro

Quadro 30 – Elementos do Módulo AEE

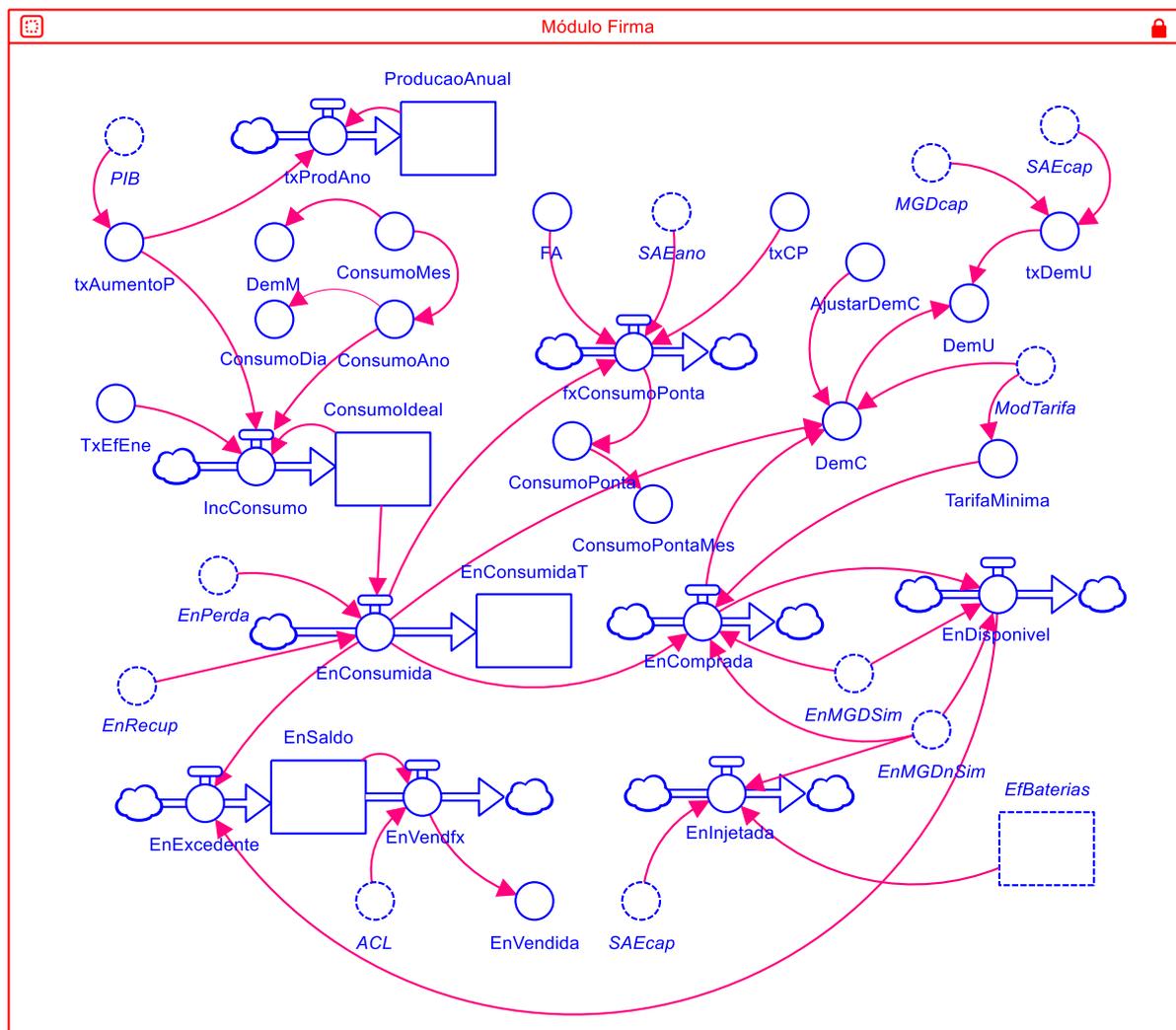
ELEMENTO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	TIPO
AEE	Ações de Eficiência Energética	adimensional	Ação
CRG	Conversor Regenerativo	adimensional	Ação
EnPerda	Energia perdida por ano	MWh	Variável
EnPerdaT	Energia total perdida	MWh	Variável
EnRecup	Energia Recuperada	MWh	Variável
outrasperdas	Outras perdas por ineficiência energética	%	Parâmetro
SGE	Sistema de Gestão de Energia	adimensional	Ação
TxPerdaDisp	Taxa de perda por disponibilidade	%	Parâmetro
TxPerdaQuali	Taxa de perda por qualidade do fornecimento de energia	%	Parâmetro
TxPerdaSGE	Taxa de perdas relativas ao sistema de gestão de energia	%	Parâmetro
TxPerdaTotal	Taxa total de perdas	%	Parâmetro
TxRecuperacao	Taxa de recuperação de energia	%	Parâmetro

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.2.6 Módulo Firma

O Módulo Firma (ModFir) representa a dinâmica do fluxo de energia da empresa, conforme pode ser visualizado na Figura 27. A previsão inicial de demanda interna de energia elétrica anual é projetada a partir de uma média mensal. Essa previsão pode variar de acordo com alterações na projeção do PIB, assumindo-se que existe uma relação direta entre o PIB e o volume de produção, o que também repercute no consumo de energia.

Figura 27 – Módulo Firma



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Como estratégia de modelagem, é calculada a parcela de consumo ideal de energia (sem perdas). Assim, a projeção do consumo de energia é realizada somando-se o consumo ideal e a energia perdida, descontando-se o total de energia recuperada (quando houver). É importante destacar que nesse momento ainda não é considerada a fonte de energia, mas apenas o consumo. A seguinte expressão representa o cálculo da energia consumida:

$$\text{EnConsumida} = \text{ConsumoIdeal} + \text{EnPerda} - \text{EnRecup} \quad (14)$$

Essa projeção também é utilizada para apurar o total de energia consumida em horário de ponta e para estimar o valor total da demanda contratada caso o fornecimento seja em alta tensão (AT). O percentual da demanda ultrapassada é

estimado considerando-se o histórico da empresa. A descrição dos elementos utilizados neste módulo é apresentada no Quadro 31.

Quadro 31 – Elementos do Módulo Firma

ELEMENTO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	TIPO
AjustarDemC	Ajuste da demanda contratada em função da dinâmica do modelo	adimensional	Auxiliar
ConsumoAno	Consumo anual de energia	MWh	Variável
ConsumoDia	Consumo diário de energia	KWh	Variável
ConsumoIdeal	Consumo anual líquido de energia	MWh	Variável
ConsumoMes	Consumo mensal de energia	MWh	Variável
ConsumoPonta	Consumo anual de energia em horário de ponta	MWh	Variável
ConsumoPontaMes	Consumo mensal de energia em horário de ponta	MWh	Variável
DemC	Demanda contratada de energia	MW	Dado
DemM	Demanda média mensal de energia	MW	Dado
DemU	Demanda ultrapassada	MW	Dado
EnComprada	Energia comprada da distribuidora	MWh	Variável
EnConsumida	Energia Consumida	MWh	Variável
EnConsumidaT	Total de energia consumida	MWh	Variável
EnDisponivel	Energia disponível para consumo	MWh	Variável
EnExcedente	Energia excedente	MWh	Variável
EnInjetada	Energia injetada no sistema	MWh	Variável
EnSaldo	Saldo de energia excedente	MWh	Variável
EnVendfx	Energia vendida	MWh	Variável
EnVendida	Energia vendida	MWh	Variável
FA	Fator de ajuste para abatimento de energia em horário de pico	adimensional	Auxiliar
fxConsumoPonta	Consumo em horário de ponta	MWh	Variável
IncConsumo	Incremento de consumo de energia	MWh	Auxiliar
ProducaoAnual	Volume inicial de produção anual	produtos	Dado
TarifaMinima	Tarifa mínima de energia	MWh	Dado
txAumentoP	Taxa de aumento de volume de produção	%	Auxiliar
txCP	Taxa de consumo em horário de ponta	%	Dado
txDemU	Taxa de demanda ultrapassada	%	Dado
TxEfEne	Taxa de eficiência energética	%	Parâmetro
txProdAno	Volume de produção anual	%	Auxiliar

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A oferta total de energia para a empresa considera a quantidade total de energia gerada por MGD e a quantidade comprada da distribuidora. Para as empresas alimentadas em baixa tensão (BT), é considerada a tarifa mínima de 100kWh/mês. A energia comprada é estimada a partir da diferença entre a energia consumida e a oferta de energia da MGD, conforme a seguinte equação:

$$\text{EnComprada} = \text{MAX}(\text{EnConsumida} - \text{EnMGDsim} - \text{EnMGDnSim}, \text{TarifaMinima}) \quad (15)$$

Assim, a empresa tem disponível para consumo a parcela de energia comprada e a parcela de energia gerada, de acordo com a equação:

$$\text{EnDisponivel} = \text{EnComprada} + \text{EnMGDsim} + \text{EnMGDnSim} \quad (16)$$

O total de energia injetada na rede da distribuidora é apurado descontando-se a quantidade de energia que pode ser armazenada no SAE, quando for o caso. Depois de atendida a demanda interna de energia e armazenagem, é possível que haja um excedente de energia. Esta pode ser vendida, caso a empresa opte por entrar no Ambiente de Contratação Livre.

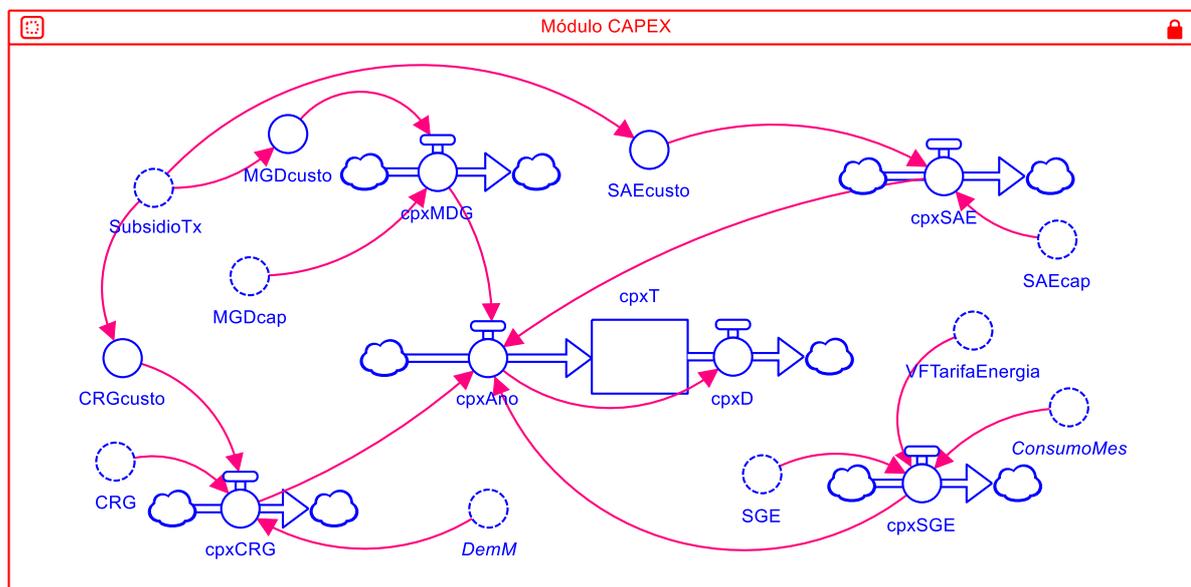
4.2.7 Módulo CAPEX

As Despesas de Capital (CAPEX) envolvem todos os custos relacionados à aquisição de equipamentos e instalações que visam à melhoria de um produto, serviço ou da empresa em si. O Módulo CAPEX (ModCPX) representa a soma total de todo o investimento realizado pela empresa, considerando os custos de implantação de MDG, SAE, CRG e SAE, conforme Figura 28. Por representar os custos de investimento, as CAPEX são utilizadas para calcular o Retorno sobre o Investimento (ROI).

Para apurar as CAPEX de MGD, foram considerados os valores referentes ao Programa Indústria Solar RS (FIERGS, 2019). Esse programa é um projeto desenvolvido por empresas privadas com apoio da Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul (FIERGS). Tal iniciativa visa a incentivar a geração de energia solar em residências e indústrias do Rio Grande do Sul por meio de preços e

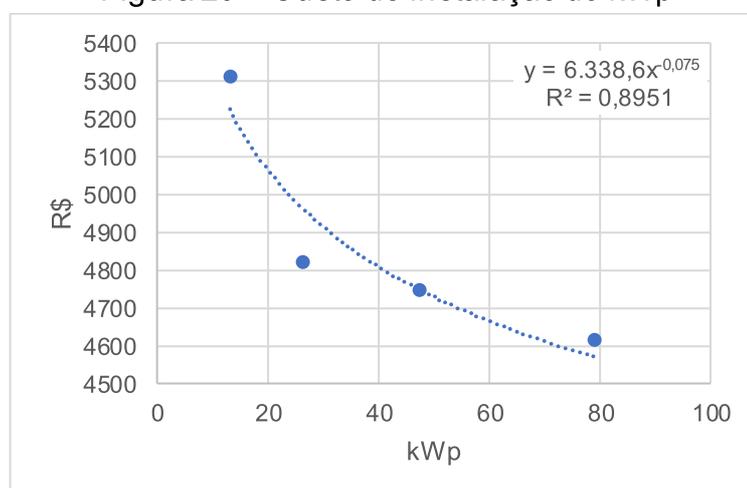
condições diferenciadas. A partir dos valores oferecidos pelo programa, foi possível realizar uma regressão não linear, conforme mostra a Figura 29.

Figura 28 – Módulo CAPEX



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 29 – Custo de instalação do kWp



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Dessa forma, no ano zero, as CAPEX de MGD são calculadas no ModCPX utilizando a seguinte equação:

$$cpxMDG = MGDcusto * (MGDcap^{0,075} - 0,075) * MGDcap \quad (17)$$

Para estimar as CAPEX do SAE foram considerados os preços de mercado, tendo como referência a seguinte configuração de baterias:

Tabela 8 – Informações técnicas do SAE

Informações técnicas	
Modelo	B-Box Pro 13.8
Tipo de bateria	LiFePO4
Módulo da bateria	B-Plus 13.8 (13,8 kWh)
Energia utilizável	13,8 kWh
Potência máxima de saída	12,8 kW
Preço	R\$ 45.000,00
Preço do kWh	R\$/kWh 3.260,00
Preço do Inversor	R\$/kWh 1.000,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

As informações da Tabela 8 permitem estimar um custo de R\$ 4.260,00 por kWh instalado no SAE. Assim, as CAPEX do SAE são representadas pela equação:

$$cpxSAE = SAEcusto * SAEcap \quad (18)$$

O custo de aquisição do CRG é calculado considerando a potência total do equipamento, a um valor de R\$ 2.000,00 por kVA, medida necessária para atender a potência média diária da UC, conforme experiência obtida no projeto piloto. Assim, as CAPEX do CRG ficam:

$$cpxCRG = CRGcusto * DemM \quad (19)$$

Para projetar as CAPEX do SGE, assume-se o pressuposto de que os equipamentos necessários são desconhecidos, visto que a indicação de eventuais substituições é, em si, um dos resultados da implantação do SGE. Entretanto, é possível estimar esse custo utilizando modelos de contrato de desempenho energético que levam em conta o perfil de cada UC. Desse modo, foram utilizados como parâmetros o consumo mensal ao longo de 6 meses e o valor final da tarifa de energia para estimar as CAPEX do SGE, expressas pela seguinte equação:

$$cpxSGE = ConsumoMes/1000 * VFTarifaEnergia * 6 * SGE \quad (20)$$

Os valores estimados para MGD, SAE e CRG ainda podem ter reduções relativas a possíveis subsídios fornecidos pelo governo. A expressão final do ModCPX representa a soma de todas as CAPEX apresentadas:

$$\text{cpxAno} = \text{cpxMDG} + \text{cpxCRG} + \text{cpxSAE} + \text{cpxSGE} \quad (21)$$

A descrição dos elementos utilizados neste módulo é apresentada no Quadro 32.

Quadro 32 – Elementos do Módulo CAPEX

ELEMENTO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	TIPO
cpxAno	CAPEX	R\$	Métrica
cpxCRG	CAPEX Conversores Regenerativos	R\$	Métrica
cpxD	CAPEX depreciado	R\$	Métrica
cpxMDG	CAPEX Microgeração distribuída	R\$	Métrica
cpxSAE	CAPEX Sistema de Armazenamento de Energia	R\$	Métrica
cpxSGE	CAPEX Sistemas de Gestão de Energia	R\$	Métrica
cpxT	CAPEX Total	R\$	Métrica
CRGcusto	Custo de aquisição de conversores regenerativos	R\$	Dado
MGDcusto	Custo de implantação de MGD	R\$	Dado
SAEcusto	Custo de Implantação de SAE	R\$	Dado

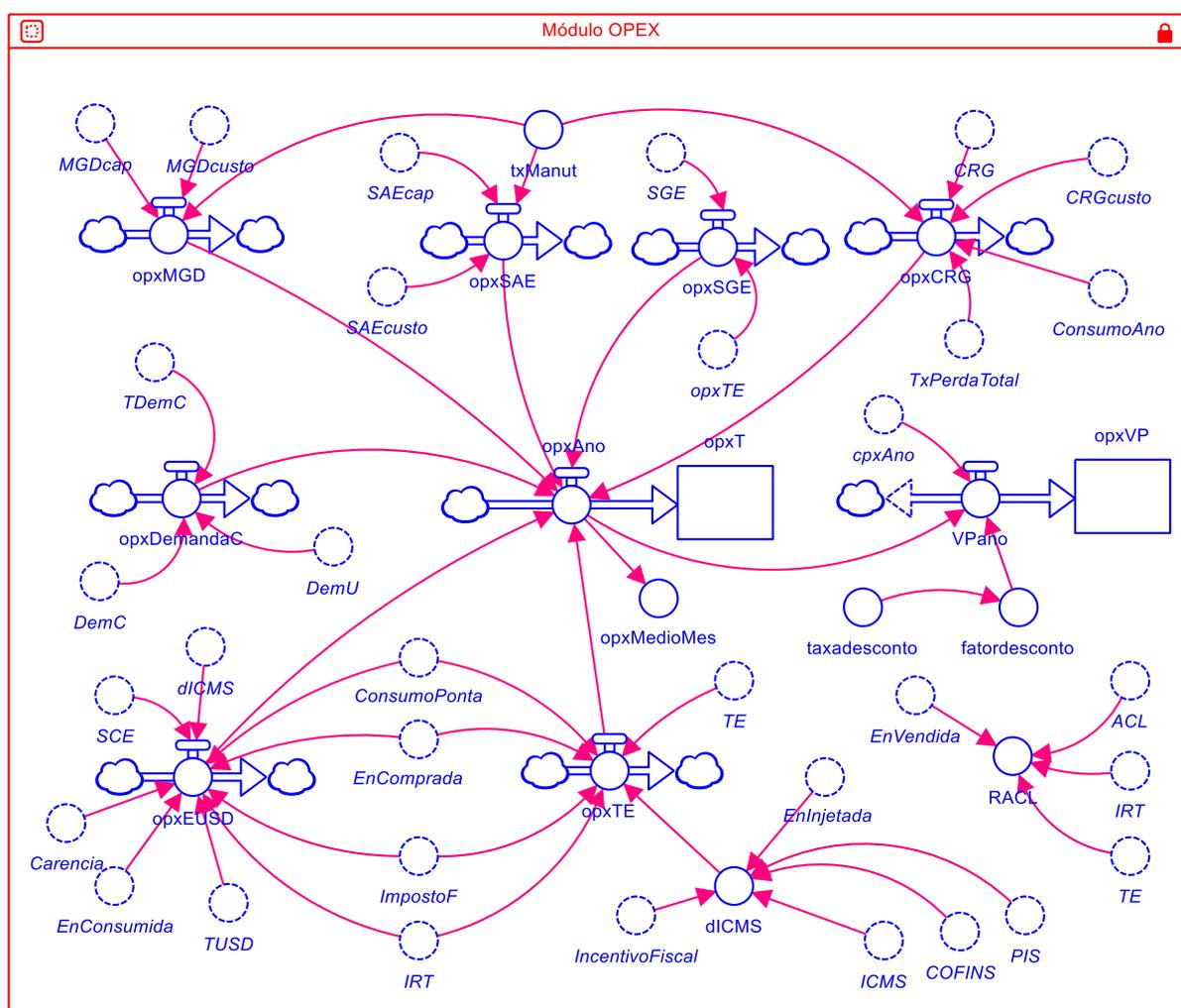
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Assim, este módulo agrupa todos os custos relacionados a investimentos realizados pela firma no tocante às Ações de Eficiência Energética consideradas no modelo proposto.

4.2.8 Módulo OPEX

A sigla OPEX vem do inglês e significa *Operational Expenditure*. Ao contrário das CAPEX, calcula as Despesas Operacionais e de Manutenção de Equipamentos. No Módulo OPEX (ModOPX), os gastos considerados foram as despesas com energia elétrica e com a manutenção de cada uma das AEE, cuja relação é representada na Figura 30.

Figura 30 – Módulo OPEX



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

As despesas com energia elétrica são calculadas de acordo com sua natureza, sendo representadas como nas faturas de energia enviadas pela ESCO. Além disso, foi necessário separar as despesas, pois os cenários e as políticas influenciam de diferentes formas as tarifas de energia. Como exemplo, uma alteração no SCE tem influência direta na TUSD e não impacta a TE.

O impacto da incidência de impostos é calculado somente neste módulo, visando a permitir a representação de diferentes políticas de incentivo fiscal. Por exemplo, existem práticas de isenção de ICMS para a energia gerada a partir de fontes renováveis, as quais geram crédito de ICMS para a UC. Para modelar esse crédito, foi utilizada a seguinte expressão:

$$\begin{aligned} \text{dICMS} = & \text{EnInjetada} * (\text{PIS} + \text{COFINS}) + \text{EnInjetada} * \text{ICMS} \\ & * \text{IncentivoFiscal} \end{aligned} \quad (22)$$

Assim, buscou-se representar a cobrança ou isenção de ICMS a partir da quantidade total de energia injetada na rede da ESCO. Os demais impostos permanecem inalterados. Assim, caso haja incentivo fiscal, a variável auxiliar *IncentivoFiscal* assume o valor zero e somente os demais impostos são cobrados. A partir disso, os valores da TE são calculados da seguinte forma:

$$\begin{aligned} opxTE = & (EnComprada * TE * (1 + ImpostoF) * IRT) \\ & + (ConsumoPonta * TE * (1 + ImpostoF) * IRT * 4) \\ & + dICMS * TE \end{aligned} \quad (23)$$

As despesas relacionadas ao uso do sistema de distribuição seguem a mesma estrutura da TE. Para representar o impacto dos diferentes tipos do SCE, foi necessário inserir operadores lógicos de condição, os quais consideram 3 combinações possíveis, conforme segue:

```

IF SCE = 3 THEN
(EnConsumida*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT)
+
(ConsumoPonta*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT)*4

ELSE
IF SCE = 2 AND TIME > (Carencia) THEN
(EnConsumida*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT)
+
(ConsumoPonta*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT)*4

ELSE
(EnComprada*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT)
+
(ConsumoPonta*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT)*4
+
dICMS*TUSD

```

Cabe destacar que, nessa estrutura, a TUSD pode ser cobrada tanto sobre a energia consumida quanto sobre a energia comprada, ainda levando em conta uma possível carência para implementação de alterações na legislação. Por exemplo, caso haja uma carência de 10 anos, a TUSD será cobrada sobre o total de energia consumida somente a partir do ano 11. Nesse caso, a energia consumida contabiliza o consumo total de energia da empresa, independente da fonte geradora. Por outro lado, a energia comprada considera somente o montante comprado da ESCO, o que não significa que o consumo esteja limitado à quantidade comprada, visto que o restante da demanda de energia será suprido pela energia gerada pela MGD.

No caso específico em que a modalidade tarifária é AT, o custo da demanda contratada e da demanda ultrapassada deve ser calculado, conforme representado neste módulo pela seguinte expressão:

$$opxDemandaC = DemC * TDemC * 12 + DemU * TDemC * 12 * 2 \quad (24)$$

As demais despesas operacionais têm origem nos custos de manutenção dos investimentos realizados em ativos, sendo que se utiliza uma taxa de manutenção equivalente a 1,5% a.a, conforme informado pelo especialista EE1. O custo do SGE é calculado com base em um percentual de 2% da despesa de compra de energia sem a incidência de impostos, seguindo modelos de contrato de performance. O valor de OPEX anual é resultante da soma de tipo de OPEX, conforme a seguinte expressão:

$$opxAno = opxTE + opxDemandaC + opxMGD + opxEUSD + opxSAE + opxCRG + opxSGE \quad (25)$$

Para auxiliar a análise de resultados e investimento, toda OPEX anual é convertida para o Valor Presente, considerando uma taxa de desconto de 8%, conforme valor estipulado pela ANEEL para projetos envolvendo MGD e EE. A descrição dos elementos utilizados neste módulo é apresentada no Quadro 33:

Quadro 33 – Elementos do Módulo OPEX

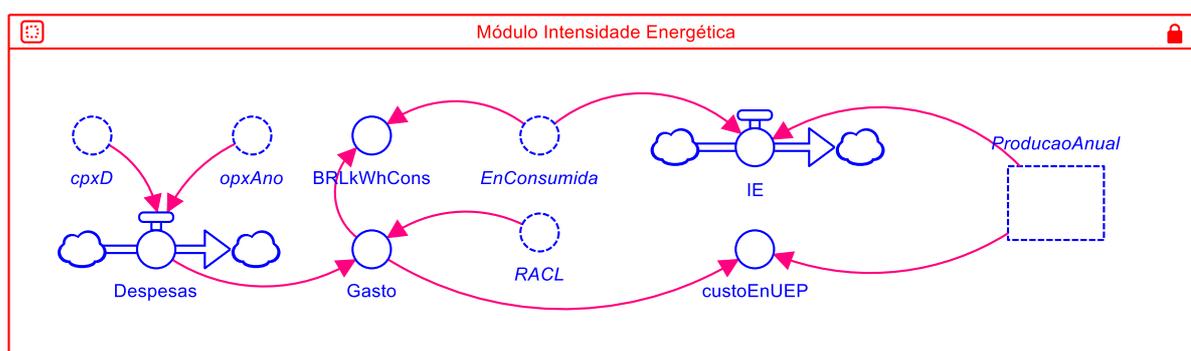
ELEMENTO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	TIPO
dICMS	Cobrança de ICMS da energia injetada	R\$	Variável
fatordesconto	Fator de desconto para cálculo do VPL	%	Auxiliar
opxAno	OPEX anual	R\$	Métrica
opxCRG	OPEX do uso de conversores regenerativos	R\$	Métrica
opxDemandaC	OPEX da demanda contratada	R\$	Métrica
opxEUSD	OPEX do uso do sistema de distribuição	R\$	Métrica
opxMedioMes	OPEX médio mensal	R\$	Métrica
opxMGD	OPEX do uso de MGD	R\$	Métrica
opxSAE	OPEX do SAE	R\$	Métrica
opxSGE	OPEX do SGE	R\$	Métrica
opxT	OPEX acumulado	R\$	Métrica
opxTE	OPEX da compra de energia	R\$	Métrica
opxVP	Valor Presente do OPEX anual	R\$	Métrica
RACL	Receita da venda de energia	R\$	Auxiliar
taxadesconto	Taxa de desconto para cálculo do VPL	%	Auxiliar
txManut	Taxa de manutenção de equipamentos	%	Parâmetro
VPano	Valor Presente anual	R\$	Métrica

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.2.9 Módulo Intensidade Energética

As técnicas mais recorrentes para análise de investimento em EE estão concentradas nas abordagens tradicionais, a saber, VPL, ROI e *Payback*. Conforme discutido ao longo do estudo, essas abordagens tradicionais não têm sido suficientes para reduzir o *gap* de energia, pois, mesmo apresentando indicadores atraentes, não se convertem em ações de eficiência energética. O módulo Intensidade Energética (ModIE) cumpre o papel de representar uma das propostas conceituais desta tese, a saber, utilizar a intensidade energética, as despesas de energia e o esforço de produção combinados em uma variável de resposta: o custo médio de energia por unidade de esforço de produção.

Figura 31 – Módulo Intensidade Energética



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Neste módulo, representado na Figura 31, o valor presente líquido é calculado para todas as despesas anuais, tanto CAPEX quanto OPEX, as quais são somadas e divididas pelo total de energia consumida, independente da fonte de geração ou compra. Assim, a variável BRLkWhCons representa o custo médio do kWh consumido, considerando os diferentes custos que a empresa pode ter em relação a investimento em ações de eficiência energética e consumo de energia. A descrição dos elementos utilizados neste módulo é apresentada no Quadro 34.

Partindo do mesmo pressuposto, o Custo Médio de Energia por UEP, representado pela variável custoEnUEP, pode ser calculado utilizando o gasto total e a produção anual em UEP, conforme a seguinte equação:

$$\text{custoEmUEP} = \text{Gasto} / \text{ProducaoAnual} \quad (26)$$

Quadro 34 – Elementos do Módulo IE

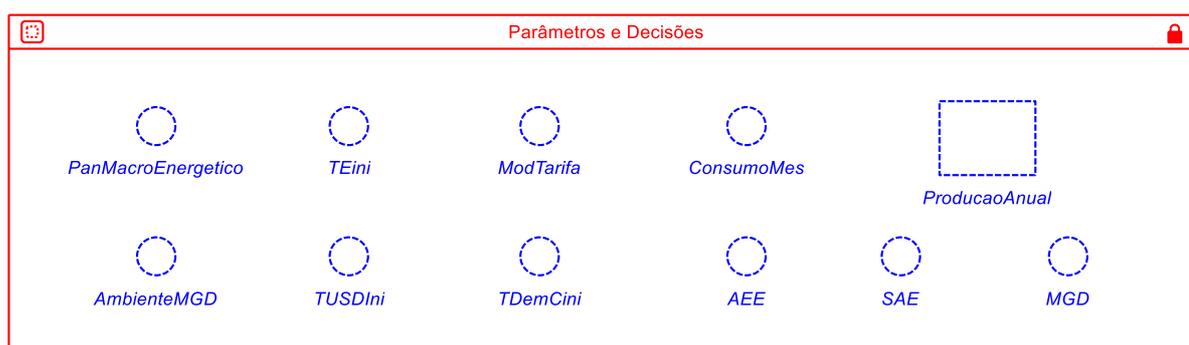
ELEMENTO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	TIPO
BRLkWhCons	Custo do kWh consumido	R\$/kWh	Métrica
custoEnUEP	Custo médio de energia para cada UEP	R\$/UEP	Métrica
Despesas	Despesa anual total	R\$	Métrica
Gasto	Gasto anual total	R\$	Métrica
IE	Intensidade Energética	KWh/UEP	Métrica

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.2.10 Módulo Parâmetros e Decisões

Para auxiliar os testes e as simulações, foi criado um módulo contendo os parâmetros e as decisões testados no modelo, conforme Figura 32. Todas as variáveis deste módulo fazem partes de outros módulos anteriormente descritos, e apenas são representadas para tornar mais práticos os testes do modelo completo.

Figura 32 – Módulo Parâmetros e Decisões

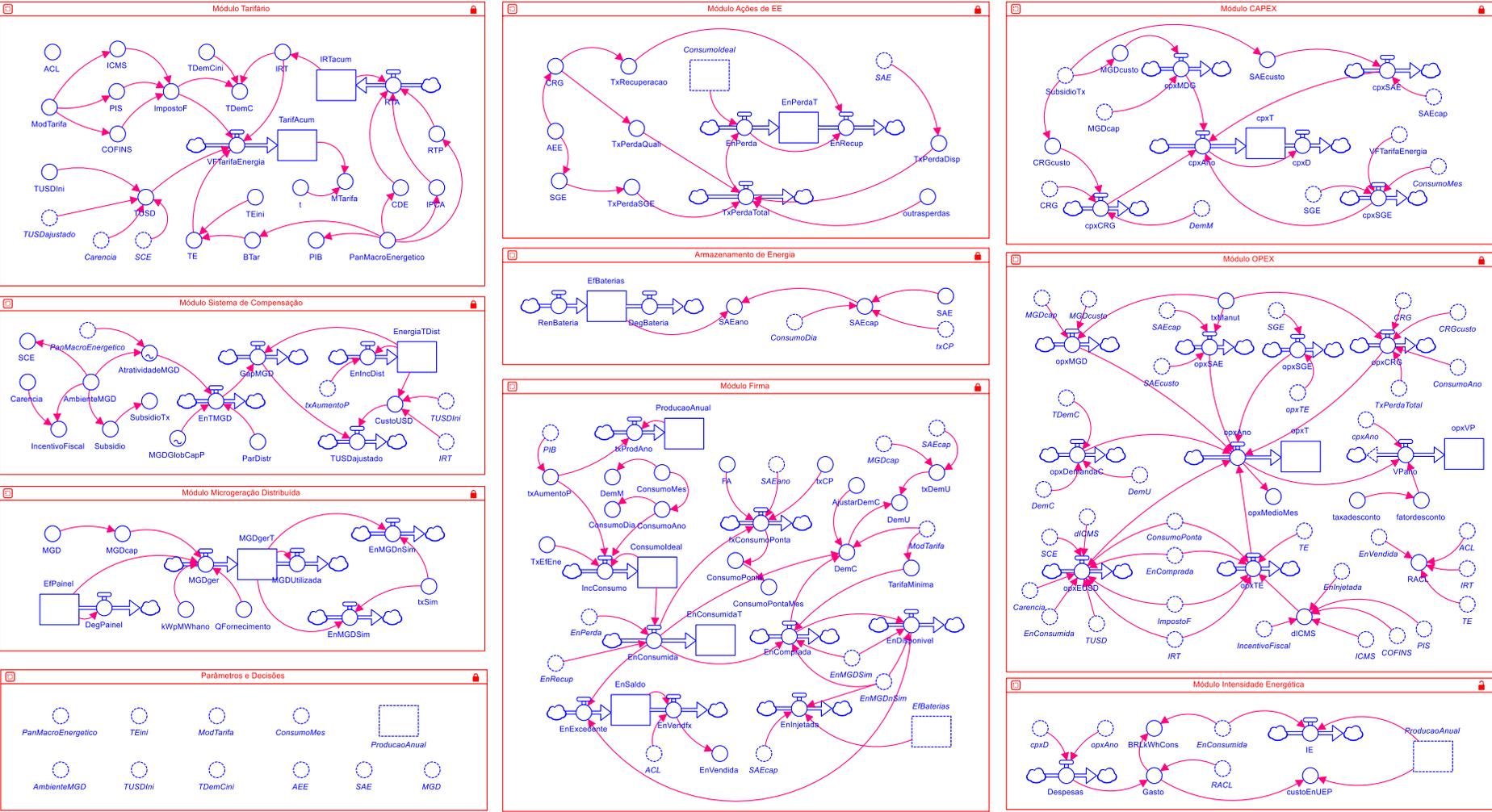


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.2.11 Modelo Dinâmico das Ações de Eficiência Energética

O MDAEE é composto pela interligação de todos os módulos por meio de algumas variáveis específicas. Utilizando um recurso do software chamado “ghost”, é possível ocultar alguns conectores e ter uma visão geral de todos os módulos, mantendo somente as conexões internas, conforme ilustra a Figura 33.

Figura 33 – Modelo Dinâmico das Ações de Eficiência Energética



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.3. PROPOSTA DE INSTANCIACÃO DO MODELO A PARTIR DO PROCESSO DE ESTRUTURAÇÃO DA RDM

A estruturação da decisão na *Robust Decision Making* (RDM) é orientada a partir do framework XLRM (X – *Uncertainties*/Incertezas, L – *Levers*/Estratégias, R – *Relationships*, M – *Metrics*/Objetivos). (LIMA, 2018). Esse framework auxilia na maneira de organizar e consolidar as informações relevantes para tomada de decisão (LIMA, 2018), conforme demonstrado no Quadro 35.

Quadro 35 – Framework XLRM

Incertezas (X)	Ações (L)
Quais são os fatores que estão fora do controle dos decisores e que afetam a capacidade de atingir os objetivos?	Que ações podem ser tomadas para atingir os objetivos?
Relações (R)	Métricas (M)
Como as Ações (A) e incertezas (X) podem ser relacionadas aos objetivos dos decisores?	O que os decisores estão tentando atingir?

Fonte: Adaptado de Lima (2018).

4.3.1. Incertezas (X)

As incertezas são fatores exógenos que estão fora do controle dos decisores e que têm influência no processo de tomada de decisão. No contexto decisório explorado nesta tese, as barreiras e os *drivers* externos apresentam características que permitem classificá-los como incertezas. Fatores como, por exemplo, o comportamento do ambiente energético e das variáveis conjunturais ao longo do tempo, o contexto regulatório, a confiabilidade da informação, subsídios de investimentos e a disponibilidade de informações estão fora do controle dos decisores e influenciam os resultados das possíveis decisões.

Os cenários elaborados consideram como incertezas as variações no panorama macroenergético, como alterações em parâmetros de Produto Interno Bruto (PIB), Bandeira Tarifária (BTar), Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) e Revisão Tarifária Periódica (RTP),

que resulta na Revisão Tarifária Anual (RTA). Variáveis relacionadas especificamente ao ambiente para inserção de MGD complementam as variações de cenários, representando diferentes combinações do SCE, Incentivos Fiscais e Subsídios. O Quadro 36 apresenta o resumo dos cenários.

Quadro 36 – Cenários

CENÁRIO	PANORAMA MACROENERGÉTICO	AMBIENTE MGD
1.1	PIB = 0% CDE = 0% IPCA = 2,0% RTP = 0% BTar = Verde	Cobra TSDU; Sem Incentivo Fiscal; Sem Subsídios
1.2		Nos primeiros 10 anos: Isenta TSDU; Com Incentivo Fiscal; Com Subsídios
1.3		Durante 20 anos: Isenta TSDU; Com Incentivo Fiscal; Com Subsídios
2.1	PIB = 1,5% CDE = 1,0% IPCA = 4,0% RTP = 7,5% BTar = Amarela	Cobra TSDU; Sem Incentivo Fiscal; Sem Subsídios
2.2		Nos primeiros 10 anos: Isenta TSDU; Com Incentivo Fiscal; Com Subsídios
2.3		Durante 20 anos: Isenta TSDU; Com Incentivo Fiscal; Com Subsídios
3.1	PIB = 3,0% CDE = 2,0% IPCA = 6,0% RTP = 15% BTar = Vermelha	Cobra TSDU; Sem Incentivo Fiscal; Sem Subsídios
3.2		Nos primeiros 10 anos: Isenta TSDU; Com Incentivo Fiscal; Com Subsídios
3.3		Durante 20 anos: Isenta TSDU; Com Incentivo Fiscal; Com Subsídios

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Para elaborar os cenários 1.x, assume-se o pressuposto de que a energia terá baixo custo, a BTar será a Verde e de que os fatores que influenciam o preço final da energia não terão aumento, com exceção do IPCA, que foi considerado de 2% a.a. No ambiente para MGD são representados os fatores que atualmente estão em discussão por meio da AIR proposta em audiência pública pela ANEEL. Assim, as alterações no ambiente para MGD variam entre cobrança de tarifas e incentivos governamentais, configurando um ambiente que oscila entre o menos propício à utilização de MGD até um cenário de isenção de tarifas e existência de incentivos governamentais durante 20 anos. Entre esses dois extremos, situa-se um ambiente intermediário com 10 anos de incentivos. É importante destacar que um ambiente favorável para quem implanta MGD pode resultar em um custo mais elevado para quem não adota esse tipo de iniciativa, conforme abordado no chamado espiral da morte das distribuidoras.

Seguindo os mesmos pressupostos, os cenários 2.x partem da premissa de que o custo da energia vendida pelas distribuidoras terá um aumento moderado, o PIB crescerá 1,5% a.a., o CDE será de 1,0% a.a., o IPCA será de 4,0% a.a., próximo à meta atual do governo, a RTP será de 7,5% a cada quatro anos e a BTar ficará na faixa Amarela. Como apresentado anteriormente, a atratividade da MGD varia em função das políticas de incentivo.

Os cenários 3.x assumem um custo alto de energia, influenciado principalmente pelo IPCA e pela RTP. Assim, partem da premissa de que o custo da energia vendida pelas distribuidoras terá um aumento elevado, o PIB crescerá 3,0% a.a., o CDE será de 2,0% a.a., o IPCA será de 6,0% a.a., a RTP será de 15% a cada quatro anos e a BTar ficará na faixa Vermelha. Como apresentado anteriormente, a atratividade da MGD também varia em função das políticas de incentivo. Dessa forma, tem-se 9 cenários que representam as combinações das principais incertezas consideradas no modelo. Resumidamente, cada cenário representa diferentes pressupostos para o Custo da Energia Comprada (CEC) e para o Custo para Gerar Energia (CGE), conforme Quadro 37.

Quadro 37 – Resumo dos pressupostos para as incertezas

INCERTEZAS	Cobra TSDU; Sem Incentivo Fiscal; Sem Subsídios	Nos primeiros 10 anos: Isenta TSDU; Com Incentivo Fiscal; Com Subsídios	Durante 20 anos: Isenta TSDU; Com Incentivo Fiscal; Com Subsídios
PIB = 0% CDE = 0% IPCA = 2,0% RTP = 0% BTar=Verde	<i>Cenário 1.1</i> CEC = BAIXO CGE = ALTO	<i>Cenário 1.2</i> CEC = BAIXO CGE = MÉDIO	<i>Cenário 1.3</i> CEC = BAIXO CGE = BAIXO
PIB = 1,5% CDE = 1,0% IPCA = 4,0% RTP = 7,5% BTar= Amarela	<i>Cenário 2.1</i> CEC = MÉDIO CGE = ALTO	<i>Cenário 2.2</i> CEC = MÉDIO CGE = MÉDIO	<i>Cenário 2.3</i> CEC = BAIXO CGE = BAIXO
PIB = 3,0% CDE = 2,0% IPCA = 6,0% RTP = 15% BTar=Vermelha	<i>Cenário 3.1</i> CEC = ALTO CGE = ALTO	<i>Cenário 3.2</i> CEC = ALTO CGE = MÉDIO	<i>Cenário 3.3</i> CEC = ALTO CGE = BAIXO

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.3.2. Ações (A)

Originalmente chamadas de *Policy Levers*, representam as diversas ações que, combinadas, formam um conjunto de decisões que se pretende explorar. Nesta tese,

as decisões foram elaboradas a partir da perspectiva da empresa, relacionadas ao ambiente interno da firma. Assim, este trabalho avalia a combinação de três conjuntos de ações de eficiência energética (AEE), a saber: i) Microgeração Distribuída (MGD); ii) Sistema de Armazenagem de Energia (SAE); e iii) Práticas de Eficiência Energética (PEE).

As características de cada ação foram abordadas nos desmembramentos da seção 4.1.3, que versa sobre a construção do DEF. A partir disso, para cada ação foi definido um range de possíveis decisões, as quais são detalhadas a seguir. Para a MGD foi estabelecido um limite entre 0 e 75kWp para garantir o enquadramento nas condições legais estabelecidas para microgeração. Além da opção de não utilizar microgeração (MDG=0), foram definidos dez níveis de capacidade: 8 kWp, 15 kWp, 23 kWp, 30 kWp, 38 kWp, 45 kWp, 53 kWp, 60 kWp, 68 kWp e 75 kWp. Esses níveis foram definidos tendo como referência (e ampliando) as possibilidades oferecidas pelos programas de incentivo à geração de energia solar na indústria.

O uso do SAE é binário, tendo o decisor apenas a possibilidade de utilizá-lo ou não. Conforme apresentado na seção 4.1.3.4, o dimensionamento do SAE depende das características de consumo da firma, sendo calculado pelo modelo. A escolha de não permitir ao decisor o dimensionamento do SAE se deve ao fato de haver um número elevado de combinações possíveis quando há associação com outras ações.

Por fim, as práticas de eficiência energética avaliadas consideram a implantação de SGE e a utilização de CRG. Assim, o decisor dispõe de quatro opções de PEE. A primeira é a não utilização de SGE e CRG (PEE=0). As opções 1 e 2 consideram a utilização excludente dessas práticas, sendo que quando o decisor escolhe uma, não pode adotar a outra. A última opção (PEE=3) considera a utilização simultânea das duas práticas. O impacto do SGE e as características do CRG são detalhados na seção 4.1.3.5.

Dessa forma, uma AEE é a combinação dos itens apresentados. Como exemplo, pode-se citar uma ação denominada *A15.0.3* que representa a decisão de instalar 15kWp de potência na MGD. Tal ação não utilizará sistema de armazenamento e adotará o nível 3 de práticas de eficiência energética, contemplando o SGE e o CRG.

Quadro 38 – Síntese das Ações de Eficiência Energética disponíveis

Ações de Eficiência Energética			
AEE	AMGD	Capacidade Instalada em Microgeração Distribuída	Varia entre 0 e 75kWp
	ASAE	Uso do Sistema de Armazenamento de Energia	0 - Não utiliza 1 - Utiliza
	APEE	Prática de Eficiência Energética	0 - Não utiliza 1 - Utiliza somente Sistema de Gestão de Energia 2 - Utiliza somente Conversor Regenerativo 3 - Utiliza ambos

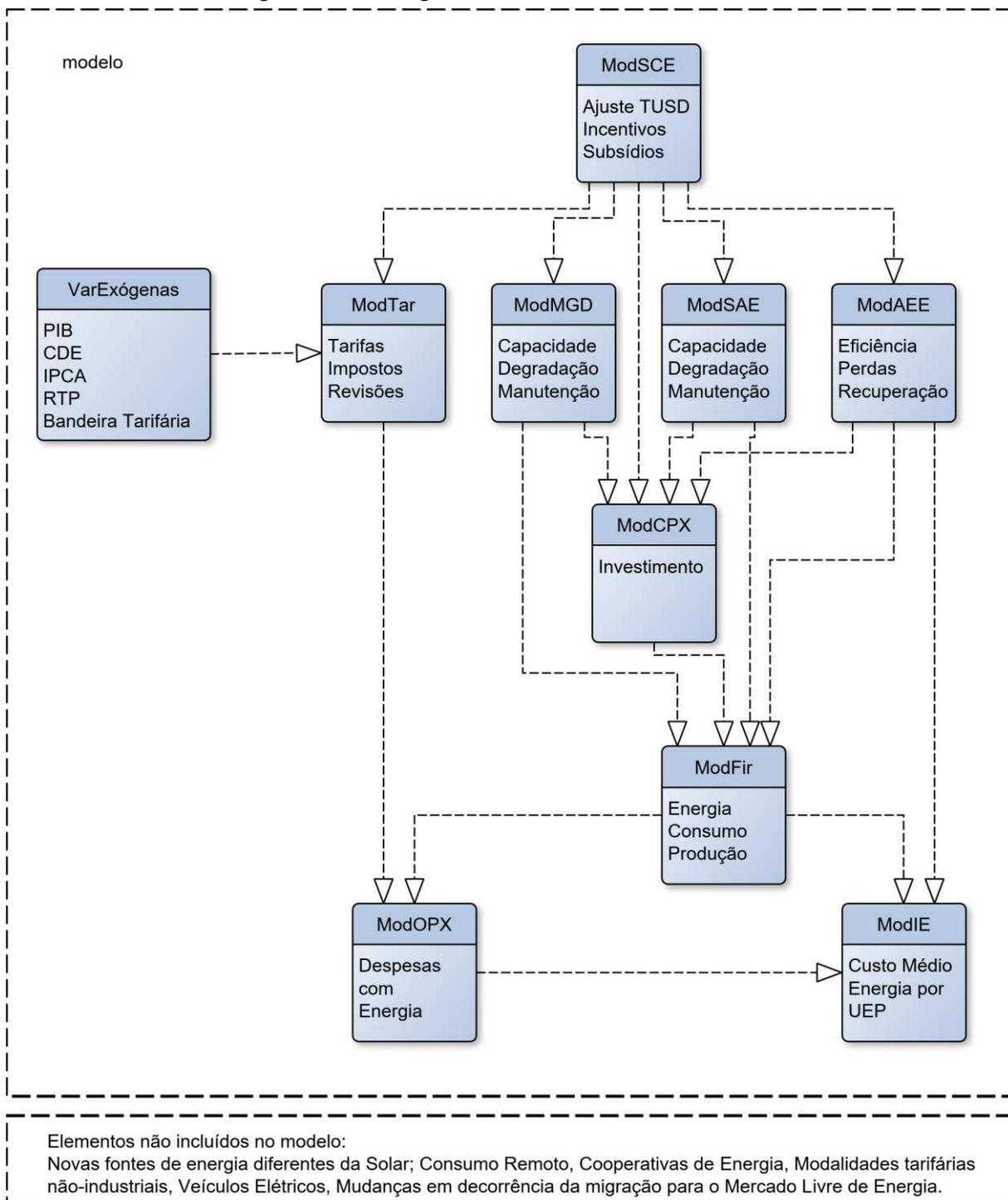
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.3.3. Relações (R)

As relações existentes entre as variáveis podem ser visualizadas no DEF (Figura 34). Nessa figura, o DEF é apresentado sem o recurso “ghost”, o que permite representar visualmente todas as conexões que se estabelecem entre as variáveis do modelo. Embora não seja critério de qualidade da modelagem, é possível ter uma noção da quantidade e complexidade das inter-relações modeladas. Esse DEF representa como são tratadas as variáveis internamente ao modelo.

Entretanto, para o desenvolvimento de modelos de dinâmica de sistemas, devem ser consideradas criticamente as fronteiras do modelo, visto que além de definir que variáveis serão tratadas de modo endógeno, é preciso deixar claro que variáveis serão tratadas de modo exógeno e que variáveis não serão consideradas pelo modelo. (LIMA, 2018). Por essa razão, na Figura 35 são apresentados os módulos do modelo e suas principais relações, bem como os elementos não incluídos na modelagem.

Figura 35 – Diagrama de Fronteiras do Modelo



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.3.4. Métricas (M)

Este trabalho adota como principal métrica o Custo Médio de Energia (CME), calculado a partir da soma das estimativas de OPEX e CAPEX para o horizonte de 20 anos, representada pela variável CUSTO, dividida pela projeção de UEP para o mesmo período. A métrica CME visa a representar o impacto financeiro relacionado aos gastos com energia elétrica a partir da comparação entre as diferenças apresentadas nos distintos cenários simulados. Dado à natureza complexa do problema, métricas complementares foram adotadas para auxiliar na compreensão dos resultados. Para cada cenário simulado, é calculado um CUSTO BASE, representando o *status quo* e projetando os resultados em um contexto em que nenhuma ação será tomada. Assim, o GANHO representa a diferença de CUSTO em relação ao CUSTO BASE. A variável ROI foi adotada porque representa o retorno do investimento nas diferentes simulações.

Quadro 39 – Variáveis de resposta utilizadas para avaliação

VARIÁVEIS DE RESPOSTA			
TFE	Tarifa Final de Energia (média dos 20 anos)	R\$/kWh	Quanto menor melhor
IE	Intensidade Energética	kWh/UEP	Quanto menor melhor
CME	Custo médio de energia para cada UEP (média dos 20 anos)	R\$/UEP	Quanto menor melhor
CAPEX	Valor Presente de CAPEX	R\$	Depende do ROI
OPEX	Valor Presente da soma do OPEX de cada ano	R\$	Quanto menor melhor
CUSTO	Valor Presente da soma de todos os custos (CAPEX + OPEX)	R\$	Quanto menor melhor
CUSTO BASE	Valor Presente da soma de todos os custos (CAPEX + OPEX) na linha de base	R\$	-
GANHO	Diferença entre o CUSTO e o CUSTO BASE	R\$	Quanto maior melhor
ROI	Retorno Sobre o Investimento	-	Quanto maior melhor

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Por fim, as variáveis Tarifa Final de Energia (TFE) e Intensidade Energética (IE) apresentam elementos importantes para a compreensão dos resultados. A primeira reflete o valor médio da tarifa de energia elétrica ao longo do período. O resultado dessa variável é influenciado por fatores externos e internos. A variável IE representa a quantidade de energia necessária para cada Unidade de Esforço de Produção (UEP). O Quadro 39 apresenta a síntese das variáveis de resposta utilizadas para avaliar os resultados no modelo proposto.

5 ANÁLISE DAS ESTIMATIVAS DO POTENCIAL IMPACTO FINANCEIRO A PARTIR DO MDAEE

No Brasil, existem dois grupos principais no que diz respeito às modalidades tarifárias: o Grupo A (consumidores atendidos em alta tensão), e o Grupo B, (consumidores atendidos em baixa tensão). (ANEEL, 2012a). Este capítulo descreve a aplicação do modelo criado no contexto de duas empresas selecionadas para instanciação do modelo.

A primeira empresa é chamada de **Firma AT**, pois é enquadrada pela modalidade tarifária do Grupo A, Subgrupo A4, no qual os consumidores são atendidos com tensão entre 2,3 kV e 25 kV. Além do grupo e subgrupo, a Firma AT adota a estrutura tarifária horossazonal verde. Nessa modalidade, o consumidor contrata um valor de demanda independentemente da hora do dia e paga três parcelas distintas: uma referente ao consumo, uma referente à demanda contratada e outra referente à ultrapassagem de demanda.

A segunda empresa estudada é chamada de **Firma BT**, pois se enquadra na modalidade tarifária do Grupo B, Subgrupo B3, que, por definição, se refere a consumidores (não residenciais, rurais ou iluminação pública) atendidos em tensão abaixo de 2,3 kV. Os consumidores de baixa tensão apresentam tarifas aplicáveis apenas ao consumo, sendo o valor de sua conta calculado multiplicando-se a tarifa por kWh (em reais) pelo consumo em kWh. Além disso, esses consumidores arcam com um custo referente a um consumo mínimo, que, mesmo se não for atingido em determinado mês, deve ser pago à concessionária pela disponibilidade do sistema. Esse custo varia conforme o tipo de ligação do cliente. Para clientes monofásicos, equivale ao consumo de 30 kWh; para clientes bifásicos, é equivalente a 50 kWh; e para clientes trifásicos, é igual a 100 kWh. (ANEEL, 2012a).

O modelo foi executado, para ambas as empresas, utilizando o recurso Teste de Sensibilidade do *software Stella Professional 1.0.3*. Esse recurso permitiu realizar 792 simulações para cada firma a partir das combinações entre os cenários e as ações apresentados nas seções 4.2.1 e 4.2.2. Os resultados das simulações geraram duas bases de dados que foram importadas e analisadas com o *software R* (versão 3.6.0).

5.1 RESULTADOS PARA A FIRMA AT

A Firma AT é uma empresa brasileira especializada em produtos e serviços para aplicações de energia segura para indústrias, instalações e infraestrutura de aplicações comerciais. Opera no segmento de projeto e fabricação de produtos eletroeletrônicos, mais especificamente de nobreaks, inversores e estabilizadores de tensão e, mais recentemente, de soluções em energia solar.

Situada em Porto Alegre/RS, a Firma AT tem em sua estrutura organizacional 70 funcionários, com destaque para um departamento de P&D que desenvolve soluções focadas ao mercado brasileiro, principalmente industrial e corporativo. Essa unidade monta produtos sob demanda *Engineering To Order* (ETO), sendo que toda a cadeia produtiva é voltada para atender aos pedidos, com espaço amplo para customização. O processo produtivo de manufatura é realizado pela unidade chamada *Global Supply Chain* (GSC), uma entidade interna que planeja, compra, recebe material, manufatura e expede. Na produção, os principais processos são montagem mecânica, montagem elétrica e teste elétrico dos equipamentos. O setor de teste elétrico utiliza aproximadamente 30% do total de energia consumida. Os dados de produção referentes ao ano-base 2018 são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Dados de produção da Firma AT

Produtos	Quantidade	UEP/pç	UEP Total
<i>UPS 1ph</i>	1310	0,4	153
<i>UPS 3ph > 40Kva</i>	88	1,4	533
<i>UPS 3ph < 40Kva</i>	381	1	381
<i>Inversor Solar 3ph</i>	4	1,2	457
<i>Retificadores e Estabilizadores</i>	301	0,6	229
Total Geral	2084		1753

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

A Tabela 10 resume os dados relativos ao contrato de fornecimento de energia elétrica, tais como tipo de tarifa, demanda contratada e médias de consumo anual e custo inicial do MWh. Nessa tabela, encontram-se os dados de localização e o potencial de geração de energia elétrica a partir das estimativas do Global Solar Atlas. (ESMAP et al., 2019).

Tabela 10 – Dados de energia da firma AT

Item	Dado	Fonte
Tipo de Tarifa	Horária Verde	
Tensão Conectada	13800v	
Subgrupo de Tensão	A4	
Demanda Contratada	215 MW	
% de Demanda Ultrapassada	5%	
Consumo Médio Anual Fora de Ponta	205,908 MWh	Fatura de Energia Elétrica
Consumo Médio Anual Ponta	11,42 MWh	
TE - Tarifa de Energia (sem impostos)	R\$ 200/MWh	
TUSD	R\$ 202/MWh	
Impostos (ICMS, PIS, COFINS)	24,49%	
Localização (Latitude, Longitude)	-30.000869° -51.163672°	
Azimute	0°	
Inclinação dos painéis	28°	(ESMAP et al., 2019)
Altitude	25 m a.n.m	
Geração média anual (kWh) por potência instalada (kWp)	1391 kWh.ano/kWp	
Potencial de EE	30%	Dados da empresa
Produção anual (UEP)	1753 UEPs	Dados da empresa (Tabela 9)

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

5.1.1. Análise descritiva das variáveis de resposta

As análises foram realizadas com base nos resultados obtidos para as variáveis de resposta apresentadas na Seção 4.2.4. Na Tabela 11, estão os dados gerados pelo modelo para o contexto da Firma AT; estes são a base para a análise descritiva das variáveis de resposta. Dentre as 792 simulações realizadas, destaca-se que 50% obtiveram TFE menor ou igual a 2,15, enquanto a IE apresentou média de 106,3 e desvio padrão de 6,49. Em relação ao CME, os valores mínimo e máximo apresentaram grande amplitude, sendo 100,9 o valor mínimo e 940,26 o valor mais elevado. Na Tabela 12, são apresentadas as correlações entre as variáveis de resposta. É possível perceber que a variável CAPEX apresenta correlação negativa mais relevante com a IE, e que há uma alta correlação positiva entre OPEX e CME e TFE e OPEX.

Tabela 11 – Análise descritiva das variáveis de resposta da Firma AT

Variável	N	Média	D.P.	Min.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Máx.
TFE	792	2,74	1,86	1,04	1,21	2,15	3,14	8,31
IE	792	106,30	6,49	96,32	101,02	105,71	111,59	117,46
CME	792	285,36	192,61	100,90	128,96	222,74	336,97	940,26
CAPEX	792	407.292,13	208.020,92	0,00	235.097,75	401.260,08	579.104,99	866.447,42
OPEX	792	4.690.433,37	3.420.477,20	1.241.931,68	1.920.281,83	3.437.549,96	6.117.478,46	16.026.811,63
CUSTO	792	5.097.725,51	3.391.456,62	1.889.566,81	2.284.493,76	3.878.755,79	6.419.769,12	16.026.811,63
CUSTO BASE	792	6.003.305,41	4.351.981,70	2.155.999,59	2.442.467,60	4.507.443,45	7.058.202,24	16.026.811,63
GANHO	792	905.579,90	1.178.974,82	-264.377,41	158.380,96	444.751,16	1.203.861,88	6.618.294,63
ROI	792	2,64	3,24	-0,52	0,49	1,49	3,65	20,80

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Tabela 12 – Correlações entre as variáveis de resposta da Firma AT

Variáveis	Correlações								
	TFE	IE	CME	CAPEX	OPEX	CUSTO	CUSTO BASE	GANHO	ROI
TFE	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
IE	0,01	1,00	-	-	-	-	-	-	-
CME	0,99	0,10	1,00	-	-	-	-	-	-
CAPEX	-0,10	-0,55	-0,15	1,00	-	-	-	-	-
OPEX	0,99	0,11	1,00	-0,17	1,00	-	-	-	-
CUSTO	0,99	0,08	1,00	-0,11	1,00	1,00	-	-	-
CUSTO BASE	0,99	0,00	0,98	-0,04	0,98	0,98	1,00	-	-
GANHO	0,80	-0,24	0,76	0,19	0,74	0,76	0,86	1,00	-
ROI	0,90	-0,02	0,88	-0,25	0,87	0,86	0,88	0,76	1,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2019)

Na Tabela 13, apresenta-se os resultados com relação à verificação da normalidade das variáveis de resposta. Os valores-p são referentes ao teste de *Shapiro-Wilk*, que testa a hipótese de normalidade. Nota-se que todos os valores-p são inferiores a 0,05, portanto, conclui-se que nenhuma das variáveis apresenta distribuição normal. Dessa forma, para as comparações posteriores, a melhor opção é a utilização de abordagens não paramétricas.

Tabela 13 – Testes de normalidade - Firma AT

Variável	w	valor-p ¹
TFE	0,812	<0,0001
IE	0,909	<0,0001
CME	0,816	<0,0001
CAPEX	0,975	<0,0001
OPEX	0,831	<0,0001
CUSTO	0,824	<0,0001
CUSTO BASE	0,790	<0,0001
GANHO	0,754	<0,0001
ROI	0,771	<0,0001

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

5.1.2. Comparação das variáveis de resposta da Firma AT em relação aos Cenários

Na Tabela 14, tem-se a comparação da variável de resposta TFE entre os Cenários, e valor-p referente ao teste de *Kruskal-Wallis*. Pode-se constatar que as simulações referentes ao Cenário C1.1 apresentaram média de 1,14 e erro padrão baixo, assim como 50% das simulações referentes ao Cenário C1.2 explicitaram TFE de, no máximo, 1,17. Como o valor-p encontrado é menor do que 0,05, pode-se afirmar que pelo menos um par de cenários apresentou medianas significativamente diferentes.

Tabela 14 – Comparação de TFE em relação aos Cenários

Variável	Cenários	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
TFE	C1.1	88	1,14	0,00	1,11	1,14	1,17	<0,001
	C1.2	88	1,17	0,01	1,14	1,17	1,21	
	C1.3	88	1,20	0,01	1,11	1,19	1,27	
	C2.1	88	1,77	0,01	1,73	1,76	1,80	
	C2.2	88	2,17	0,01	2,10	2,16	2,24	
	C2.3	88	2,59	0,03	2,39	2,59	2,78	
	C3.1	88	3,05	0,01	2,96	3,04	3,14	
	C3.2	88	4,57	0,02	4,40	4,56	4,73	
	C3.3	88	7,02	0,07	6,56	7,03	7,50	

¹ *Kruskal-Wallis*

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Como o teste de *Kruskal-Wallis* foi significativo, realizou-se o teste de *Nemenyi* para identificar os Cenários que apresentaram medianas de TFE significativamente diferentes. O teste em questão efetua comparações par a par entre os Cenários. Os valores-p referentes ao teste de *Nemenyi* se encontram na Tabela 15. Todas as células que apresentaram valor-p inferior a 0,05 representam diferenças significativas entre os cenários e estão destacadas com a cor verde.

Tabela 15 – Comparações múltiplas de TFE em relação aos Cenários

Cenários	Comparações Múltiplas - TFE							
	C1.1	C1.2	C1.3	C2.1	C2.2	C2.3	C3.1	C3.2
C1.2	0,99	-	-	-	-	-	-	-
C1.3	0,97	1,00	-	-	-	-	-	-
C2.1	0,00	0,00	0,01	-	-	-	-	-
C2.2	0,00	0,00	0,00	0,50	-	-	-	-
C2.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	-	-	-
C3.1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,65	-	-
C3.2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	-
C3.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 16, pode-se observar a comparação de IE em relação aos Cenários. Constata-se que os Cenários apresentaram a mesma sequência de valores no que se refere à Intensidade Energética (IE), visto que as medidas com relação a essa variável se repetem entre os Cenários. Isso confirma que a IE não sofre influência de fatores exógenos.

Tabela 16 – Comparação de IE em relação aos Cenários

Variável	Cenários	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
IE	C1.1	88	106,30	0,70	101,02	105,71	111,59	
	C1.2	88	106,30	0,70	101,02	105,71	111,59	
	C1.3	88	106,30	0,70	101,02	105,71	111,59	
	C2.1	88	106,30	0,70	101,02	105,71	111,59	
	C2.2	88	106,30	0,70	101,02	105,71	111,59	1,00
	C2.3	88	106,30	0,70	101,02	105,71	111,59	
	C3.1	88	106,30	0,70	101,02	105,71	111,59	
	C3.2	88	106,30	0,70	101,02	105,71	111,59	
	C3.3	88	106,30	0,70	101,02	105,71	111,59	

¹ *Kruskal-Wallis*

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 17, apresenta-se a comparação de Custo Médio de Energia (CME) para cada UEP em relação aos Cenários. Pode-se constatar que as simulações

referentes ao Cenário C1.1 apresentaram CME igual a 120,94 e erro padrão de 0,52. Observa-se que 50% das simulações referentes ao Cenário C1.2 obtiveram valor de CME de, no máximo, 124,45, assim como 75% das simulações referentes ao Cenário C1.3 apresentaram valor de CME de, no máximo, 135,57. No Cenário C2.1, 25% das simulações apresentaram valor de CME de, no máximo, 176,53. Como o valor-p referente ao teste de *Kruskal-Wallis* foi menor do que 0,05, pode-se afirmar que pelo menos um par de cenários apresentou medianas com relação ao CME significativamente diferentes.

Tabela 17 – Comparação de CME em relação aos Cenários

Variável	Cenários	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
	C1.1	88	120,94	0,52	116,86	121,04	125,42	
	C1.2	88	124,66	0,77	119,44	124,45	129,86	
	C1.3	88	127,06	1,31	117,76	126,56	135,57	
	C2.1	88	184,89	1,24	176,53	184,13	193,36	
CME	C2.2	88	227,11	1,94	213,57	226,42	239,49	<0,001
	C2.3	88	271,36	3,59	245,76	272,12	295,25	
	C3.1	88	314,48	2,69	296,34	313,18	330,19	
	C3.2	88	471,79	4,47	441,57	469,02	499,77	
	C3.3	88	725,94	9,58	659,67	724,72	788,49	

¹*Kruskal-Wallis*

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 18, tem-se os valores-p do teste de *Nemenyi* referentes às comparações múltiplas de CME em relação aos cenários. Dentre as constatações, destaca-se que C1.3 e C1.1 apresentaram medianas com relação ao CME significativamente iguais, visto que o valor-p foi de 0,98 (>0,05). Os cenários C2.1 e C1.1 apresentaram medianas com relação ao CME significativamente diferentes, visto que o valor-p foi menor do que 0,05. Nos cenários C3.1 e C2.2, as medianas com relação ao CME são significativamente diferentes, visto que o valor-p foi igual a 0,01 (<0,05). Por fim, os cenários C3.2 e C3.1 apresentaram medianas com relação ao CME significativamente iguais, visto que o valor-p encontrado foi de 0,37 (>0,05). De maneira geral, se por um lado os valores do CME nos cenários com panoramas macroenergéticos diferentes são estatisticamente diferentes, por outro lado não é possível afirmar que existe diferença significativa para o CME nos cenários em que o ambiente para microgeração distribuída é diferente.

Tabela 18 – Comparações múltiplas de CME em relação aos Cenários

Cenários	Comparações Múltiplas - CME							
	C1.1	C1.2	C1.3	C2.1	C2.2	C2.3	C3.1	C3.2
C1.2	1,00	-	-	-	-	-	-	-
C1.3	0,98	1,00	-	-	-	-	-	-
C2.1	0,00	0,00	0,01	-	-	-	-	-
C2.2	0,00	0,00	0,00	0,47	-	-	-	-
C2.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71	-	-	-
C3.1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,82	-	-
C3.2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	-
C3.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 19, observa-se a comparação de CAPEX em relação aos Cenários. Dentre as conclusões verificadas, pode-se destacar que as simulações referentes ao Cenário C1.1 apresentaram média em relação à CAPEX igual a 436.453,90, e erro padrão igual a 23.814,24. Em 50% das simulações referentes ao Cenário C2.1, o valor de CAPEX foi de, no máximo, 430.339,94. Frente ao valor-p encontrado, a saber, maior do que 0,05, não se pode afirmar que, com relação à CAPEX, os cenários apresentaram medianas significativamente diferentes. Esse fato confirma que os custos das ações não foram significativamente diferentes nos 9 cenários testados.

Tabela 19 – Comparação de CAPEX em relação aos Cenários

Variável	Cenários	N	Médias	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
CAPEX	C1.1	88	436.453,90	23.814,24	252.758,83	429.378,68	626.972,23	
	C1.2	88	405.695,84	22.053,74	235.777,91	399.151,27	581.925,30	
	C1.3	88	374.902,74	20.295,09	218.761,93	368.888,80	536.843,32	
	C2.1	88	437.415,15	23.826,41	253.720,09	430.339,94	627.933,49	
	C2.2	88	406.665,91	22.067,03	236.747,97	400.121,34	582.895,36	0,24
	C2.3	88	375.872,81	20.309,54	219.732,01	369.858,88	537.813,40	
	C3.1	88	440.298,93	23.865,56	256.603,87	433.223,71	630.817,26	
	C3.2	88	409.558,50	22.109,51	239.640,57	403.013,93	585.787,96	
	C3.3	88	378.765,42	20.355,70	223.501,53	374.906,78	541.582,92	

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 20, apresenta-se a comparação de OPEX em relação aos Cenários. Pode-se constatar que as simulações referentes ao Cenário C3.1 apresentaram média com relação à OPEX de 5717860,83. Em 50% das simulações referentes ao Cenário C2.2, o valor de OPEX foi de, no máximo, 3.533.322,42. Pelo valor-p (<0,05)

encontrado pode-se afirmar que pelo menos um par de cenários apresentou medianas com relação à OPEX significativamente diferentes.

Tabela 20 – Comparação de OPEX em relação aos Cenários

Variável	Cenários	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
OPEX	C1.1	88	1.771.557,49	16.240,79	1.659.378,33	1.763.520,80	1.879.285,52	
	C1.2	88	1.786.475,66	22.028,00	1.633.166,28	1.785.113,02	1.921.610,19	
	C1.3	88	1.807.522,94	27.642,65	1.612.698,72	1.798.096,84	1.981.910,22	
	C2.1	88	2.964.822,12	29.605,55	2.766.040,12	2.959.914,34	3.157.897,55	
	C2.2	88	3.541.506,45	42.064,99	3.250.696,32	3.533.322,42	3.814.083,17	<0,001
	C2.3	88	4.055.407,69	62.682,77	3.619.781,23	4.079.292,07	4.471.339,00	
	C3.1	88	5.717.860,83	59.258,82	5.314.981,10	5.687.113,64	6.117.478,46	
	C3.2	88	8.381.771,73	92.125,23	7.758.935,07	8.332.005,10	9.004.707,93	
	C3.3	88	12.186.975,45	171.930,81	10.990.120,74	12.165.101,91	13.314.351,62	

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Como o teste de *Kruskal-Wallis* foi significativo, apresenta-se, na Tabela 21, os valores-p referentes às comparações múltiplas, obtidos a partir do teste de *Nemenyi*. Dentre as conclusões encontradas, pode-se destacar que a maioria dos cenários apresentou medianas com relação à OPEX significativamente diferentes (valor-p<0,05). Os cenários que apresentaram medianas significativamente iguais (valor-p>0,05) são aqueles em que o ambiente para microgeração distribuída muda pouco. Por exemplo, se não existe incentivo (cenários x.1), os valores para os cenários com incentivo intermediário (cenários x.2) não têm diferenças significativas em relação à OPEX.

Tabela 21 – Comparações múltiplas de OPEX em relação aos Cenários

Cenários	Comparações Múltiplas - OPEX							
	C1.1	C1.2	C1.3	C2.1	C2.2	C2.3	C3.1	C3.2
C1.2	1,00	-	-	-	-	-	-	-
C1.3	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-
C2.1	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-
C2.2	0,00	0,00	0,00	0,65	-	-	-	-
C2.3	0,00	0,00	0,00	0,04	0,96	-	-	-
C3.1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	-	-
C3.2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	-
C3.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 22, tem-se a comparação de CUSTO em relação aos Cenários. Pode-se constatar que 75% das simulações referentes ao Cenário C2.2 apresentaram

valor de CUSTO de, no máximo, 4.104.179,74. Em 50% das simulações referentes ao Cenário C3.3 observa-se valor de CUSTO de, no máximo, 12.565.013,60. Pelo valor-p encontrado, pode-se afirmar que pelo menos um par de Cenários apresentou medianas com relação ao CUSTO significativamente diferentes.

Tabela 22 – Comparação de CUSTO em relação aos Cenários

Variável	Cenários	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
CUSTO	C1.1	88	2.208.011,38	12.549,16	2.106.766,65	2.222.423,93	2.307.409,34	<0,001
	C1.2	88	2.192.171,50	10.928,38	2.115.606,16	2.194.612,78	2.264.211,15	
	C1.3	88	2.182.425,67	14.322,17	2.085.485,90	2.177.928,50	2.275.679,65	
	C2.1	88	3.402.237,27	13.098,61	3.298.563,30	3.431.157,70	3.543.860,62	
	C2.2	88	3.948.172,36	23.376,14	3.788.273,79	3.934.121,85	4.104.179,74	
	C2.3	88	4.431.280,51	45.179,17	4.132.087,93	4.421.954,13	4.735.170,55	
	C3.1	88	6.158.159,76	38.727,44	5.894.182,48	6.134.964,77	6.419.769,12	
	C3.2	88	8.791.330,23	72.215,56	8.304.444,60	8.742.166,45	9.236.858,69	
	C3.3	88	12.565.740,87	153.520,34	11.485.417,01	12.565.013,60	13.583.843,40	

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 23, apresenta-se as comparações múltiplas de CUSTO com relação aos Cenários. Pode-se constatar que os Cenários C3.3 e C3.2 apresentaram medianas com relação ao CUSTO significativamente iguais, visto que o valor-p foi igual a 0,6 ($>0,05$). Os Cenários C3.3 e C3.1 apresentaram medianas com relação ao CUSTO significativamente diferentes (valor-p $<0,05$). Isso significa que o CUSTO reproduziu o comportamento de OPEX em relação aos diferentes cenários.

Tabela 23 – Comparações múltiplas de CUSTO em relação aos Cenários

Cenários	Comparações Múltiplas - CUSTO							
	C1.1	C1.2	C1.3	C2.1	C2.2	C2.3	C3.1	C3.2
C1.2	1,00	-	-	-	-	-	-	-
C1.3	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-
C2.1	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-
C2.2	0,00	0,00	0,00	0,38	-	-	-	-
C2.3	0,00	0,00	0,00	0,01	0,93	-	-	-
C3.1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	-	-
C3.2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	-
C3.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 24, tem-se a comparação de CUSTO BASE com relação aos Cenários. Destaca-se que os erros padrão encontrados foram iguais a 0, pois em um

Cenário definido o valor de CUSTO BASE é fixo. Nesse caso, a realização de comparações múltiplas é desnecessária, visto que os dados não apresentam variabilidade.

Tabela 24 – Comparação de CUSTO BASE em relação aos Cenários

Variável	Cenários	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
CUSTO BASE	C1.1	88	2.155.999,59	0,00	2.155.999,59	2.155.999,59	2.155.999,59	
	C1.2	88	2.305.648,00	0,00	2.305.648,00	2.305.648,00	2.305.648,00	
	C1.3	88	2.442.467,60	0,00	2.442.467,60	2.442.467,60	2.442.467,60	
	C2.1	88	3.647.818,45	0,00	3.647.818,45	3.647.818,45	3.647.818,45	
	C2.2	88	4.507.443,45	0,00	4.507.443,45	4.507.443,45	4.507.443,45	<0,001
	C2.3	88	5.473.191,55	0,00	5.473.191,55	5.473.191,55	5.473.191,55	
	C3.1	88	7.058.202,24	0,00	7.058.202,24	7.058.202,24	7.058.202,24	
	C3.2	88	10.412.166,18	0,00	10.412.166,18	10.412.166,18	10.412.166,18	
	C3.3	88	16.026.811,63	0,00	16.026.811,63	16.026.811,63	16026811,63	

¹*Kruskal-Wallis*

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 25, apresenta-se a comparação de GANHO em relação aos Cenários. Pode-se concluir que as simulações referentes ao Cenário C1.1 mostraram média com relação à variável ganho de -52.011,79 e mediana de -66.424,34, caracterizando prejuízo. As simulações referentes ao Cenário C3.3 apresentaram os maiores valores de média e mediana com relação ao GANHO. Pelo valor-p do teste de *Kruskal-Wallis*, pode-se afirmar que pelo menos um par de Cenários apresentou medianas significativamente diferentes com relação ao GANHO.

Cabe destacar que somente no cenário C1.1 o GANHO apresenta valores negativos. Assim, por um lado, pode-se dizer que no cenário com condições macroenergéticas atraentes e sem incentivos para MGD algumas ações não são vantajosas. Por outro lado, em todos os demais cenários o GANHO é positivo, aumentando na medida em que o custo de energia comprada é mais elevado e as condições para MGD são mais favoráveis.

Tabela 25 – Comparação de GANHO em relação aos Cenários

Variável	Cenários	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
GANHO	C1.1	88	-52.011,79	12.549,16	-151.409,75	-66.424,34	49.232,94	<0,001
	C1.2	88	113.476,50	10.928,38	41.436,86	111.035,22	190.041,84	

C1.3	88	260.041,93	14.322,17	166.787,96	264.539,10	356.981,70
C2.1	88	245.581,18	13.098,61	103.957,83	216.660,75	349.255,16
C2.2	88	559.271,09	23.376,14	403.263,71	573.321,61	719.169,66
C2.3	88	1.041.911,04	45.179,17	738.021,00	1.051.237,42	1.341.103,63
C3.1	88	900.042,48	38.727,44	638.433,12	923.237,48	1.164.019,76
C3.2	88	1.620.835,95	72.215,56	1.175.307,49	1.669.999,73	2.107.721,59
C3.3	88	3.461.070,76	153.520,34	2.442.968,23	3.461.798,03	4.541.394,62

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 26, tem-se os resultados referentes às comparações múltiplas de GANHO com relação aos Cenários. Constata-se que os Cenários C1.1 e C1.2 apresentaram medianas com relação ao GANHO significativamente iguais (valor- $p > 0,05$). Os Cenários C2.2 e C3.1 também apresentaram medianas com relação ao GANHO significativamente iguais (valor- $p > 0,05$). Já os cenários C1.1 e C1.3 apresentaram medianas significativamente diferentes (valor- $p < 0,05$) no mesmo quesito.

Tabela 26 – Comparações múltiplas de GANHO em relação aos Cenários

Cenários	Comparações Múltiplas - GANHO							
	C1.1	C1.2	C1.3	C2.1	C2.2	C2.3	C3.1	C3.2
C1.2	0,48	-	-	-	-	-	-	-
C1.3	0,00	0,30	-	-	-	-	-	-
C2.1	0,00	0,44	1,00	-	-	-	-	-
C2.2	0,00	0,00	0,02	0,01	-	-	-	-
C2.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	-	-	-
C3.1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46	1,00	-	-
C3.2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68	0,22	-
C3.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 27, apresenta-se a comparação de ROI com relação aos Cenários. Pode-se constatar que as simulações referentes ao Cenário C2.2 apresentaram média e erro padrão com relação ao ROI iguais a 1,64 e 0,09, respectivamente. Em 50% das simulações referentes ao Cenário C1.3, o valor de ROI foi de, no máximo, 0,62. Para 75% das simulações referentes ao Cenário C3.2, o valor de ROI foi de, no máximo, 5,09. Pelo valor- p encontrado, pode-se afirmar que pelo menos um par de Cenários apresentou valores de medianas com relação ao ROI significativamente diferentes.

Tabela 27 – Comparação de ROI em relação aos Cenários

Variável	Cenários	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
ROI	C1.1	88	0,02	0,04	-0,24	-0,14	0,19	<0,001
	C1.2	88	0,45	0,05	0,08	0,21	0,78	
	C1.3	88	0,90	0,06	0,41	0,62	1,38	
	C2.1	88	0,77	0,07	0,33	0,53	1,02	
	C2.2	88	1,64	0,09	1,04	1,32	2,09	
	C2.3	88	3,14	0,13	2,23	2,65	4,05	
	C3.1	88	2,39	0,13	1,58	1,99	2,84	
	C3.2	88	4,41	0,19	3,22	3,88	5,09	
	C3.3	88	10,00	0,33	7,79	8,87	12,19	

¹*Kruskal-Wallis*

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Visto que na Tabela 27 o teste de *Kruskal-Wallis* foi significativo, apresenta-se, na Tabela 28, as comparações múltiplas obtidas via teste de *Nemenyi*. Dentre as conclusões encontradas, pode-se destacar que os cenários C1.1 e C2.1 evidenciaram valores de medianas com relação ao ROI significativamente diferentes (valor-p<0,05) e que os cenários C1.2 e C1.3 apresentaram valores de medianas significativamente iguais (valor-p>0,05).

Tabela 28 – Comparações múltiplas de ROI em relação aos Cenários

Cenários	Comparações Múltiplas - ROI							
	C1.1	C1.2	C1.3	C2.1	C2.2	C2.3	C3.1	C3.2
C1.2	0,48	-	-	-	-	-	-	-
C1.3	0,00	0,52	-	-	-	-	-	-
C2.1	0,01	0,91	1,00	-	-	-	-	-
C2.2	0,00	0,00	0,17	0,02	-	-	-	-
C2.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-
C3.1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54	0,81	-	-
C3.2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,87	0,03	-
C3.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

5.1.3. Comparação das variáveis de resposta da Firma AT em relação à AMGD

Na Tabela 29, apresenta-se a comparação da variável TFE em relação às categorias de AMGD. Pode-se destacar que as simulações com AMGD igual a 0 obtiveram média de TFE igual a 3,01 e erro padrão de 0,25. As simulações com AMGD igual a 8 apresentaram mediana de 2,26. Dessa forma, 50% destas obtiveram valor de TFE igual ou inferior a 2,26. Pelo valor-p do teste de *Kruskal-Wallis*, pode-se afirmar que todas as categorias de AMGD apresentaram valores de mediana com relação à TFE significativamente iguais.

Tabela 29 – Comparação de TFE em relação à AMGD

Variável	AMGD	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
TFE	0	72	3,01	0,25	1,35	2,33	3,33	0,05
	8	72	2,91	0,24	1,29	2,26	3,22	
	15	72	2,87	0,24	1,27	2,24	3,19	
	23	72	2,82	0,23	1,25	2,21	3,17	
	30	72	2,78	0,22	1,22	2,19	3,14	
	38	72	2,74	0,22	1,19	2,16	3,12	
	45	72	2,69	0,21	1,17	2,14	3,09	
	53	72	2,65	0,21	1,15	2,11	3,06	
	60	72	2,60	0,20	1,14	2,09	3,04	
	68	72	2,56	0,20	1,13	2,06	3,01	
	75	72	2,51	0,19	1,12	2,04	2,99	

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 30, tem-se a comparação de IE em relação às categorias de AMGD. Constata-se que, como aconteceu com os Cenários, a IE apresentou a mesma sequência de valores referente às categorias de AMGD, visto que as medidas dessas variáveis são as mesmas.

Tabela 30 – Comparação de IE em relação à AMGD

Variável	AMGD	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
IE	0	72	106,30	0,77	101,02	105,71	111,59	1,00
	8	72	106,30	0,77	101,02	105,71	111,59	
	15	72	106,30	0,77	101,02	105,71	111,59	
	23	72	106,30	0,77	101,02	105,71	111,59	
	30	72	106,30	0,77	101,02	105,71	111,59	
	38	72	106,30	0,77	101,02	105,71	111,59	
	45	72	106,30	0,77	101,02	105,71	111,59	
	53	72	106,30	0,77	101,02	105,71	111,59	
	60	72	106,30	0,77	101,02	105,71	111,59	
	68	72	106,30	0,77	101,02	105,71	111,59	
	75	72	106,30	0,77	101,02	105,71	111,59	

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 31, apresenta-se a comparação da variável CME em relação às categorias de AMGD. Pode-se destacar que as simulações com AMGD igual a 68 apresentaram média de CME igual a 266,17. Em 50% das simulações com AMGD igual a 53, o valor de CME foi de, no máximo, 218,09. As simulações com AMGD igual a 75 apresentaram o menor erro padrão com relação à CME, sendo este 20,03. Pelo valor-p encontrado, pode-se afirmar que todas as categorias de AMGD apresentaram medianas com relação à CME significativamente iguais.

Tabela 31 – Comparação de CME em relação à AMGD

Variável	AMGD	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
CME	0	72	313,56	25,65	141,54	243,35	357,11	0,32
	8	72	303,07	24,84	136,54	235,71	344,41	
	15	72	298,85	24,32	134,60	233,43	339,74	
	23	72	293,97	23,73	132,11	230,78	334,37	
	30	72	289,68	23,22	129,54	228,44	331,77	
	38	72	284,76	22,64	127,69	225,75	328,82	
	45	72	280,44	22,14	126,94	223,37	326,23	
	53	72	275,49	21,57	125,98	218,09	323,26	
	60	72	271,14	21,08	124,23	213,45	320,65	
	68	72	266,17	20,52	122,18	210,65	317,66	
	75	72	261,82	20,03	121,37	208,20	315,05	

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 32, apresenta-se a comparação da variável CAPEX em relação às categorias de AMGD. Pode-se destacar que as simulações com AMGD igual a 23 apresentaram média de CAPEX igual a 347.782,40. As simulações com AMGD igual a 75 apresentaram os maiores valores de média e mediana com relação à CAPEX, sendo esses valores iguais a 561.339,40 e 552.728,60, respectivamente. Pelo valor-p (<0,05) encontrado, pode-se afirmar que pelo menos um par de categorias de AMGD apresentou valores de medianas com relação à CAPEX significativamente diferentes. Mesmo que a AMGD seja zero, representando a não utilização de MGD, a adoção de outras ações pode contribuir para a existência de CAPEX.

Tabela 32 – Comparação de CAPEX em relação à AMGD

Variável	AMGD	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
CAPEX	0	72	240.155,80	21.434,84	66.139,94	231.544,90	415.495,80	<0,001
	8	72	280.676,70	21.461,97	106.590,60	272.065,90	456.016,80	
	15	72	312.633,70	21.486,67	138.547,61	304.022,90	487.973,80	
	23	72	347.782,40	21.517,19	171.825,95	339.171,60	523.122,50	
	30	72	377.768,60	21.545,98	199.837,40	369.157,80	553.108,60	
	38	72	411.402,20	21.581,30	233.618,80	402.791,40	586.742,20	
	45	72	440.392,30	21.614,29	263.784,16	431.781,50	615.732,30	
	75	72	561.339,40	21.614,29	263.784,16	431.781,50	615.732,30	

53	72	473.113,40	21.654,34	297.831,78	464.502,50	647.573,30
60	72	501.439,00	21.691,41	327.305,79	492.828,20	674.750,60
68	72	533.510,00	21.736,06	360.676,98	524.899,20	705.521,40
75	72	561.339,40	21.777,08	389.634,52	552.728,60	732.222,50

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Visto que na Tabela 32 o valor-p do teste de *Kruskal-Wallis* foi significativo, apresenta-se, na Tabela 33, as comparações múltiplas para identificar quais pares de AMGD apresentaram medianas significativamente diferentes. Dentre as conclusões encontradas, pode-se notar que 0 e 15 apresentaram valores de mediana significativamente iguais (valor-p>0,05) e que 60 e 23 apresentaram valores de mediana significativamente diferentes (valor-p<0,05).

Tabela 33 – Comparações múltiplas de CAPEX em relação à AMGD

AMGD	Comparações Múltiplas - CAPEX									
	0	8	15	23	30	38	45	53	60	68
8	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0,97	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0,65	0,97	1,00	-	-	-	-	-	-	-
30	0,20	0,68	0,97	1,00	-	-	-	-	-	-
38	0,02	0,19	0,62	0,97	1,00	-	-	-	-	-
45	0,00	0,02	0,19	0,70	0,97	1,00	-	-	-	-
53	0,00	0,00	0,02	0,21	0,67	0,98	1,00	-	-	-
60	0,00	0,00	0,00	0,03	0,24	0,75	0,98	1,00	-	-
68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,28	0,74	0,98	1,00	-
75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,35	0,84	0,99	1,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 34, pode-se verificar a comparação de OPEX em relação à AMGD. Constata-se que as simulações com AMGD igual a 53 apresentaram média de OPEX igual a 4.485.128,00. Em 75% das simulações com AMGD, 15 obtiveram valor de OPEX de, no máximo, 6.262.129,00. Pelo valor-p encontrado, pode-se concluir que todas as categorias de AMGD apresentaram medianas com relação à OPEX significativamente iguais.

Tabela 34 – Comparação de OPEX em relação à AMGD

Variável	AMGD	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
	0	72	5.267.263,00	453.839,80	2.174.368,00	3.953.921,00	6.562.582,00	
	8	72	5.062.684,00	439.072,90	2.073.034,00	3.793.546,00	6.324.780,00	
	15	72	4.973.140,00	430.280,70	2.027.052,00	3.731.865,00	6.262.129,00	
	23	72	4.870.601,00	420.286,80	1.963.182,00	3.644.873,00	6.190.309,00	
	30	72	4.780.767,00	411.592,70	1.920.282,00	3.553.706,00	6.127.344,00	
OPEX	38	72	4.678.006,00	401.718,20	1.877.131,00	3.449.425,00	6.055.282,00	0,13
	45	72	4.588.024,00	393.135,60	1.839.310,00	3.383.823,00	5.992.159,00	
	53	72	4.485.128,00	383.397,60	1.805.723,00	3.328.411,00	5.919.952,00	
	60	72	4.395.050,00	374.943,00	1.769.639,00	3.252.156,00	5.856.722,00	
	68	72	4.292.077,00	365.361,80	1.725.566,00	3.160.435,00	5.784.412,00	
	75	72	4.202.027,00	357.053,80	1.696.796,00	3.100.030,00	5.721.104,00	

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 35, apresenta-se a comparação de CUSTO e AMGD. Pode-se constatar que as simulações com capacidade instalada igual a 30 obtiveram média de CUSTO igual a 5.158.536,00. 25% das simulações com capacidade instalada igual a 68 obtiveram valor de CUSTO de, no máximo, 2.229.283,00. 50% das simulações com capacidade instalada igual 30 obtiveram valor de CUSTO de, no máximo, 3.957.424,00. Pelo valor-p encontrado, pode-se afirmar que todas as categorias de AMGD apresentaram valores de mediana com relação ao CUSTO significativamente iguais.

Tabela 35 – Comparação de CUSTO em relação à AMGD

Variável	AMGD	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
	0	72	5.507.419,00	451.823,70	2.382.583,00	4.174.060,00	6.734.262,00	
	8	72	5.343.361,00	436.921,60	2.307.902,00	4.054.700,00	6.534.839,00	
	15	72	5.285.774,00	428.024,30	2.303.488,00	4.024.969,00	6.505.932,00	
CUSTO	23	72	5.218.384,00	417.917,40	2.300.793,00	3.989.416,00	6.471.193,00	0,86
	30	72	5.158.536,00	409.129,50	2.277.622,00	3.957.424,00	6.439.842,00	
	38	72	5.089.408,00	399.153,50	2.269.670,00	3.920.133,00	6.403.223,00	
	45	72	5.028.417,00	390.486,90	2.270.151,00	3.886.998,00	6.370.637,00	

53	72	4.958.242,00	380.658,30	2.250.444,00	3.820.751,00	6.332.886,00
60	72	4.896.489,00	372.129,50	2.230.345,00	3.756.906,00	6.299.476,00
68	72	4.825.587,00	362.469,60	2.229.283,00	3.702.637,00	6.260.951,00
75	72	4.763.366,00	354.099,00	2.228.134,00	3.638.331,00	6.227.093,00

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 36, compara-se o CUSTO BASE à AMGD. Pode-se notar que o CUSTO BASE apresentou a mesma sequência de valores com relação às categorias de AMGD, visto que as medidas apresentadas foram as mesmas.

Tabela 36 – Comparação de CUSTO BASE em relação à AMGD

Variável	AMGD	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
CUSTO BASE	0	72	6.003.305,00	516.159,00	2.442.468,00	4.507.443,00	7.058.202,00	1,00
	8	72	6.003.305,00	516.159,00	2.442.468,00	4.507.443,00	7.058.202,00	
	15	72	6.003.305,00	516.159,00	2.442.468,00	4.507.443,00	7.058.202,00	
	23	72	6.003.305,00	516.159,00	2.442.468,00	4.507.443,00	7.058.202,00	
	30	72	6.003.305,00	516.159,00	2.442.468,00	4.507.443,00	7.058.202,00	
	38	72	6.003.305,00	516.159,00	2.442.468,00	4.507.443,00	7.058.202,00	
	45	72	6.003.305,00	516.159,00	2.442.468,00	4.507.443,00	7.058.202,00	
	53	72	6.003.305,00	516.159,00	2.442.468,00	4.507.443,00	7.058.202,00	
	60	72	6.003.305,00	516.159,00	2.442.468,00	4.507.443,00	7.058.202,00	
	68	72	6.003.305,00	516.159,00	2.442.468,00	4.507.443,00	7.058.202,00	
	75	72	6.003.305,00	516.159,00	2.442.468,00	4.507.443,00	7.058.202,00	

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 37, apresenta-se a comparação de GANHO em relação à AMGD. Constata-se que as simulações com AMGD igual a 0 apresentaram média de GANHO de 495.886,80, e erro padrão de 85.500,91. Em 75% das simulações com AMGD igual a 8, o valor de GANHO foi de, no máximo, 880.469,90. Pelo valor-p encontrado, pode-se afirmar que pelo menos um par de valores de AMGD apresentou medianas de GANHO significativamente diferentes.

Tabela 37 – Comparação de GANHO em relação à AMGD

Variável	AMGD	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
	0	72	495.886,80	85.500,91	0,00	207.918,60	667.920,00	
	8	72	659.944,60	97.502,60	134.467,60	357.775,70	880.469,90	
	15	72	717.531,70	105.541,76	142.813,50	356.312,20	938.688,80	
	23	72	784.921,50	115.088,47	141.209,50	402.141,20	1.056.047,20	
	30	72	844.769,80	123.689,35	164.845,40	448.038,80	1.142.119,80	
GANHO	38	72	913.897,70	133.741,82	192.646,70	494.998,50	1.213.344,70	<0,01
	45	72	974.888,70	142.694,79	195.426,00	528.588,60	1.276.170,50	
	53	72	1.045.063,60	153.071,56	200.612,40	567.448,10	1.351.328,80	
	60	72	1.106.816,90	162.255,51	217.942,20	601.355,70	1.445.463,10	
	68	72	1.177.718,50	172.849,65	238.052,30	640.127,40	1.546.488,00	
	75	72	1.239.939,10	182.190,87	251.522,70	674.268,50	1.611.581,00	

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 38, pode-se perceber que os valores destacados em verde apresentaram valor inferior a 0,05 nas comparações múltiplas obtidas via *Nemenyi* e que, portanto, considerando esse teste, todos os níveis de AMGD apresentaram medianas com relação ao GANHO estatisticamente iguais. Entretanto, isso não significa que os valores de GANHO não possam ser utilizados para análise, mas que, ao se considerar apenas a capacidade instalada de MGD, para alguns cenários não há uma diferença significativa em relação às medianas da variável de resposta em questão. Assim, levando-se em conta as demais técnicas de análise utilizadas nesta tese, é possível constatar que há GANHO médio positivo projetado em todos os cenários simulados. No entanto, a diferença entre eles não é estatisticamente significativa.

Tabela 38 – Comparações múltiplas de GANHO em relação à AMGD

AMGD	Comparações Múltiplas - GANHO									
	0	8	15	23	30	38	45	53	60	68
8	0,91	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0,74	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0,49	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-	-
30	0,29	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-
38	0,15	0,97	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-	-

45	0,08	0,91	0,98	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-
53	0,03	0,78	0,93	0,99	1,00	1,00	1,00	-	-	-
60	0,02	0,63	0,83	0,96	0,99	1,00	1,00	1,00	-	-
68	0,01	0,45	0,69	0,89	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	-
75	0,01	0,32	0,55	0,79	0,92	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 39, apresenta-se a comparação de ROI em relação à AMGD. Dentre as conclusões observadas, pode-se destacar que as simulações com AMGD igual a 0 apresentaram média de ROI igual a 2,69 e erro padrão igual a 0,46. As simulações com AMGD igual a 8 apresentaram os maiores valores de média e mediana com relação ao ROI, no entanto, pelo valor-p encontrado, pode-se afirmar que todas as categorias de AMGD apresentaram medianas de ROI significativamente iguais.

Tabela 39 – Comparação de ROI em relação à AMGD

Variável	AMGD	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
ROI	0	72	2,69	0,46	0,00	1,31	3,83	0,75
	8	72	3,26	0,43	0,84	2,13	4,51	
	15	72	2,91	0,40	0,67	1,78	4,11	
	23	72	2,71	0,38	0,56	1,67	3,92	
	30	72	2,62	0,37	0,48	1,54	3,68	
	38	72	2,54	0,37	0,48	1,45	3,40	
	45	72	2,50	0,36	0,48	1,41	3,25	
	53	72	2,47	0,36	0,47	1,38	3,20	
	60	72	2,45	0,36	0,48	1,36	3,17	
	68	72	2,43	0,36	0,49	1,34	3,14	
	75	72	2,42	0,36	0,49	1,33	3,13	

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 40, apresenta-se a comparação de todas as variáveis de resposta em relação aos níveis de ASAE. Além disso, como há somente duas categorias, utilizou-se o teste de *Wilcoxon-Mann-Whitney* para determinar diferenças significativas entre as medianas das categorias de ASAE. Pode-se constatar que 50% das simulações com ASAE igual a 0 obtiveram TFE de, no máximo, 2,21, e que 50% das simulações com ASAE igual a 1 obtiveram TFE de, no máximo, 2,11, sendo que tal diferença não é significativa (valor-p>0,05). Ainda, 50% das simulações com ASAE igual a 0 obtiveram CAPEX de, no máximo, 235.097,75, e 50% das simulações com ASAE igual a 1 obtiveram CAPEX de, no máximo, 579.104,99, sendo essa diferença significativa (valor-p<0,05). Além disso, 50% das simulações com ASAE igual a 0

obtiveram ROI de, no máximo, 1,99, e 50% das simulações com ASAE igual a 1 obtiveram ROI de, no máximo, 1,05, diferença também significativa (valor- $p < 0,05$).

Tabela 40 – Comparação das variáveis de resposta em relação ao ASAE

Variável	ASAE	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
TFE	0	396	2,81	0,10	1,19	2,21	3,19	0,79
	1	396	2,67	0,09	1,22	2,11	3,04	
IE	0	396	108,94	0,31	103,37	108,65	114,52	0,00
	1	396	103,66	0,29	98,67	103,37	108,65	
CME	0	396	299,88	10,38	131,07	235,92	347,17	0,04
	1	396	270,84	8,88	127,60	212,84	313,55	
CAPEX	0	396	234.218,44	5.667,54	146.889,56	235.097,75	320.901,68	0,00
	1	396	580.365,83	5.919,14	490.236,95	579.104,99	666.779,58	
OPEX	0	396	5.012.534,87	183.481,32	2.011.032,12	3.694.081,02	6.392.878,23	0,00
	1	396	4.368.331,87	158.029,43	1.803.633,59	3.190.152,47	5.646.925,39	
CUSTO	0	396	5.246.753,31	182.804,60	2.181.643,56	3.962.617,69	6.603.861,20	0,32
	1	396	4.948.697,70	156.953,35	2.327.645,16	3.800.987,99	6.202.624,42	
CUSTO BASE	0	396	6.003.305,41	218.833,68	2.442.467,60	4.507.443,45	7.058.202,24	1,00
	1	396	6.003.305,41	218.833,68	2.442.467,60	4.507.443,45	7.058.202,24	
GANHO	0	396	756.552,10	46.268,27	192.414,31	417.703,04	984.487,44	0,25
	1	396	1.054.607,71	69.107,10	103.021,26	580.286,15	1.438.350,75	
ROI	0	396	3,42	0,19	0,97	1,99	4,23	0,00
	1	396	1,85	0,12	0,18	1,05	2,43	

¹ Wilcoxon-Mann-Whitney

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 41, tem-se a comparação de todas as variáveis de resposta em relação aos níveis de Prática de Eficiência Energética (APEE), além do valor- p referente ao teste de *Kruskal-Wallis* e das comparações múltiplas obtidas via teste de Nemenyi. Constata-se que as simulações com APEE igual a 0 obtiveram média de TFE igual 2,74. Pelo valor- p do teste de *Kruskal-Wallis*, pode-se afirmar que todas as categorias de APEE apresentaram medianas de TFE significativamente iguais (valor- $p > 0,05$). A partir do valor- p do teste de *Kruskal-Wallis*, pode-se afirmar que pelo menos um par de categorias de APEE apresentou medianas de OPEX significativamente diferentes (valor- $p < 0,05$), sendo que ao analisar as comparações múltiplas identifica-se diferenças significativas entre as categorias 0 e 3.

Tabela 41 – Comparação das variáveis de resposta em relação à APEE

Variável	APEE	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹	Comparações Múltiplas		
									0	1	2
u	0	198	2,74	0,13	1,18	2,15	3,12	0,85	-	-	-
	1	198	2,75	0,13	1,20	2,16	3,15		0,98	-	-
	2	198	2,74	0,13	1,21	2,15	3,13		0,97	1,00	-
	3	198	2,75	0,13	1,23	2,16	3,17		0,85	0,97	0,98
IE	0	198	114,52	0,21	111,59	114,52	117,46	0,00	-	-	-
	1	198	108,65	0,21	105,71	108,65	111,59		0,00	-	-
	2	198	103,37	0,17	101,02	103,37	105,71		0,00	0,00	-
	3	198	98,67	0,17	96,32	98,67	101,02		0,00	0,00	0,00
CME	0	198	306,74	14,85	135,08	241,44	353,10	0,00	-	-	-
	1	198	292,30	14,02	130,18	230,17	338,36		0,73	-	-
	2	198	276,86	13,18	124,65	217,83	320,22		0,10	0,61	-
	3	198	265,54	12,52	121,08	209,36	308,55		0,01	0,15	0,82
CAPEX	0	198	340.210,08	14.383,52	171.246,43	333.665,50	517.393,83	0,00	-	-	-
	1	198	395.013,81	14.385,01	224.797,72	389.139,31	570.945,11		0,10	-	-
	2	198	419.570,45	14.430,07	250.606,81	414.221,28	596.754,20		0,00	0,75	-
	3	198	474.374,19	14.431,47	304.158,09	469.633,60	650.305,48		0,00	0,01	0,11
OPEX	0	198	5.083.165,55	263.048,19	2.055.482,25	3.726.712,06	6.541.015,82	0,01	-	-	-
	1	198	4.813.992,30	248.856,33	1.963.191,54	3.525.610,90	6.242.170,14		0,78	-	-
	2	198	4.540.400,44	234.106,17	1.855.908,25	3.325.122,92	5.868.394,31		0,20	0,75	-
	3	198	4.324.175,20	222.871,10	1.767.577,38	3.162.645,81	5.630.337,18		0,02	0,25	0,84
CUSTO	0	198	5.423.375,63	261.231,40	2.354.864,46	4.146.656,49	6.726.147,10	0,01	-	-	-
	1	198	5.209.006,11	247.174,02	2.307.941,53	3.986.911,12	6.486.514,92		0,82	-	-
	2	198	4.959.970,90	232.149,77	2.250.028,23	3.811.805,62	6.139.320,59		0,17	0,64	-
	3	198	4.798.549,38	221.055,70	2.219.823,30	3.701.740,14	5.960.476,96		0,03	0,26	0,91
CUSTO BASE	0	198	6.003.305,41	309.870,05	2.442.467,60	4.507.443,45	7.058.202,24	1,00	-	-	-
	1	198	6.003.305,41	309.870,05	2.442.467,60	4.507.443,45	7.058.202,24		1,00	-	-
	2	198	6.003.305,41	309.870,05	2.442.467,60	4.507.443,45	7.058.202,24		1,00	1,00	-
	3	198	6.003.305,41	309.870,05	2.442.467,60	4.507.443,45	7.058.202,24		1,00	1,00	1,00
GANHO	0	198	579.929,78	63.069,42	85.820,39	267.089,56	766.012,62	0,00	-	-	-
	1	198	794.299,30	75.243,16	160.890,63	425.106,04	1.049.942,58		0,07	-	-
	2	198	1.043.334,51	87.846,20	262.384,22	626.571,66	1.350.018,12		0,00	0,08	-
	3	198	1.204.756,03	98.383,20	297.925,05	751.925,69	1.570.382,94		0,00	0,00	0,71
ROI	0	198	2,03	0,20	0,17	1,27	2,81	0,00	-	-	-
	1	198	2,40	0,20	0,47	1,50	3,30		0,31	-	-
	2	198	3,14	0,27	0,59	1,89	4,15		0,00	0,26	-
	3	198	2,97	0,24	0,62	1,91	4,00		0,00	0,27	1,00

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

5.1.4. *Heatmaps* das Variáveis de Resposta da Firma AT

Os mapas de calor apresentados foram elaborados a partir das médias de cada variável em análise, relacionando-as aos Cenários e categorias de AEE. Lateralmente, são apresentadas as médias por cenário e por categoria de AEE. Na análise gráfica, deve-se atentar à escala de cores, sendo que quanto maior é o valor médio, mais amarela é a célula, e quanto menor é o valor médio, mais azul é a célula.

A partir da leitura do Gráfico 4, é possível verificar que as OPEX apresentam uma redução linear se comparadas à capacidade de Microgeração Distribuída (MGD) instalada. Devido ao consumo apresentado pela Firma AT e ao limite de capacidade permitido por lei, qualquer capacidade instalada de MGD resulta em redução de OPEX e, conseqüentemente, em redução do CME.

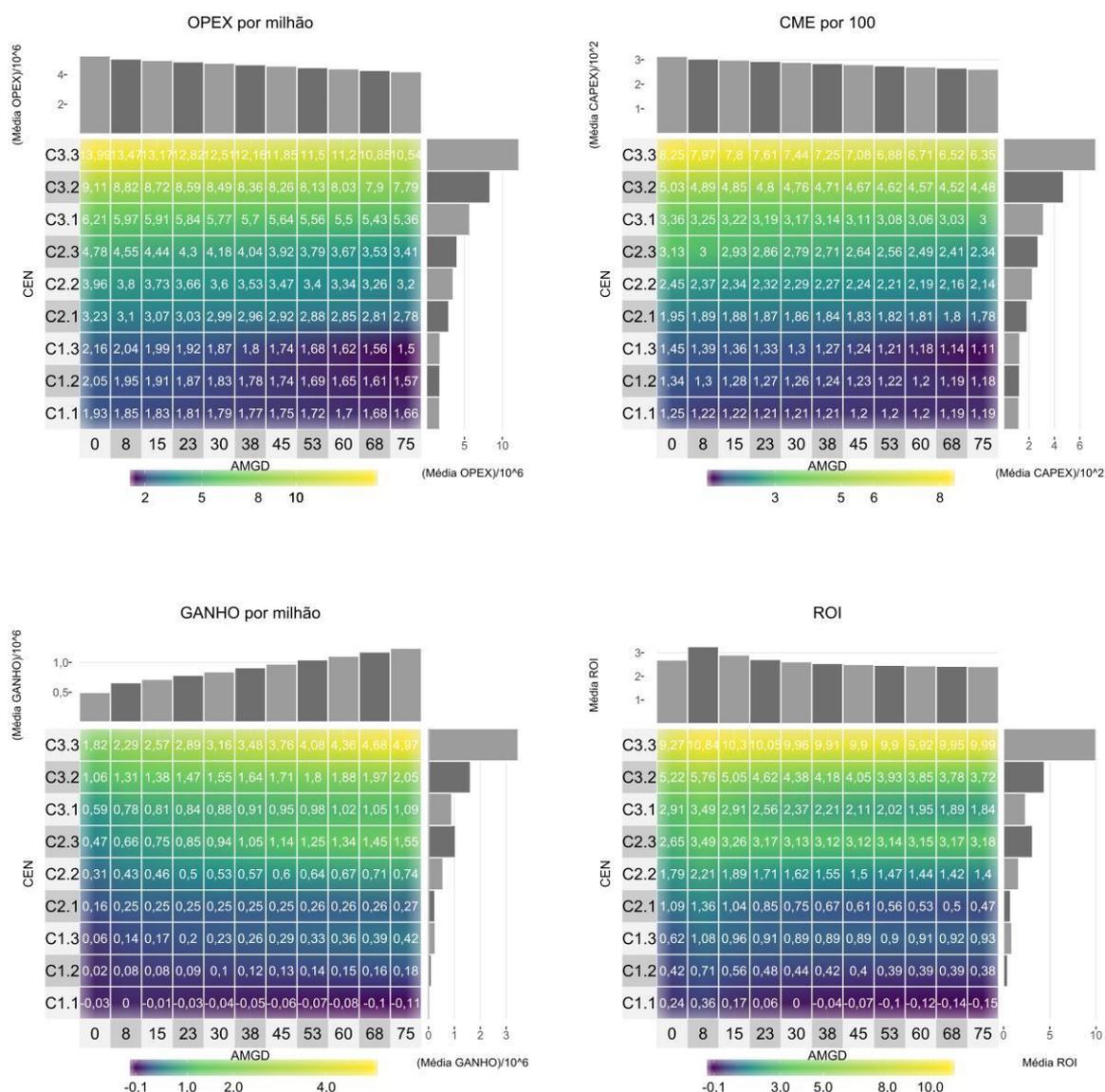
Além dessa constatação, a leitura detalhada desse gráfico ilustra o impacto de diferentes capacidades instaladas em relação aos fatores externos, representados nos diferentes cenários. Por exemplo, no Cenário 3.3, caracterizado pelo alto custo de energia comprada, a escolha de 75kWp pode representar ganhos de aproximadamente R\$ 5 milhões em 20 anos.

Outro aspecto que merece atenção é o comportamento do ROI, analisado em conjunto com o GANHO. O ROI atinge o pico com 8KWp. Entretanto, o GANHO segue a tendência de elevação se aumentada a capacidade instalada, mesmo que isso não signifique um aumento do ROI. Nesse caso, o ROI mais elevado não coincide com a escolha de maior ganho. Nos cenários em que a energia tem preço baixo, como o Cenário C1.1, o ROI apresenta valores negativos ou próximos a zero. Assim, em uma condição hipotética de energia barata, a utilização de MGD não é atrativa.

Partindo da compreensão de que o cenário 3.3 representa condições de energia cara e sem incentivos para MGD, percebe-se que quanto pior é a combinação do cenário, maior é o GANHO potencial. Esse resultado pode ser explicado pela ação neutralizadora que a MGD pode exercer sobre o CME, fazendo com que as variações do CME sejam menos suscetíveis ao contexto externo. Assim, ao se comparar um cenário de alto custo energético e de uso do limite de potência instalada de MGD, os GANHOS potenciais são elevados. Outra interpretação possível é considerar esse GANHO como um custo de arrependimento, o que representa o quanto a empresa

deixa de ganhar caso não opte pela alternativa analisada. Essa leitura serve para os demais comparativos.

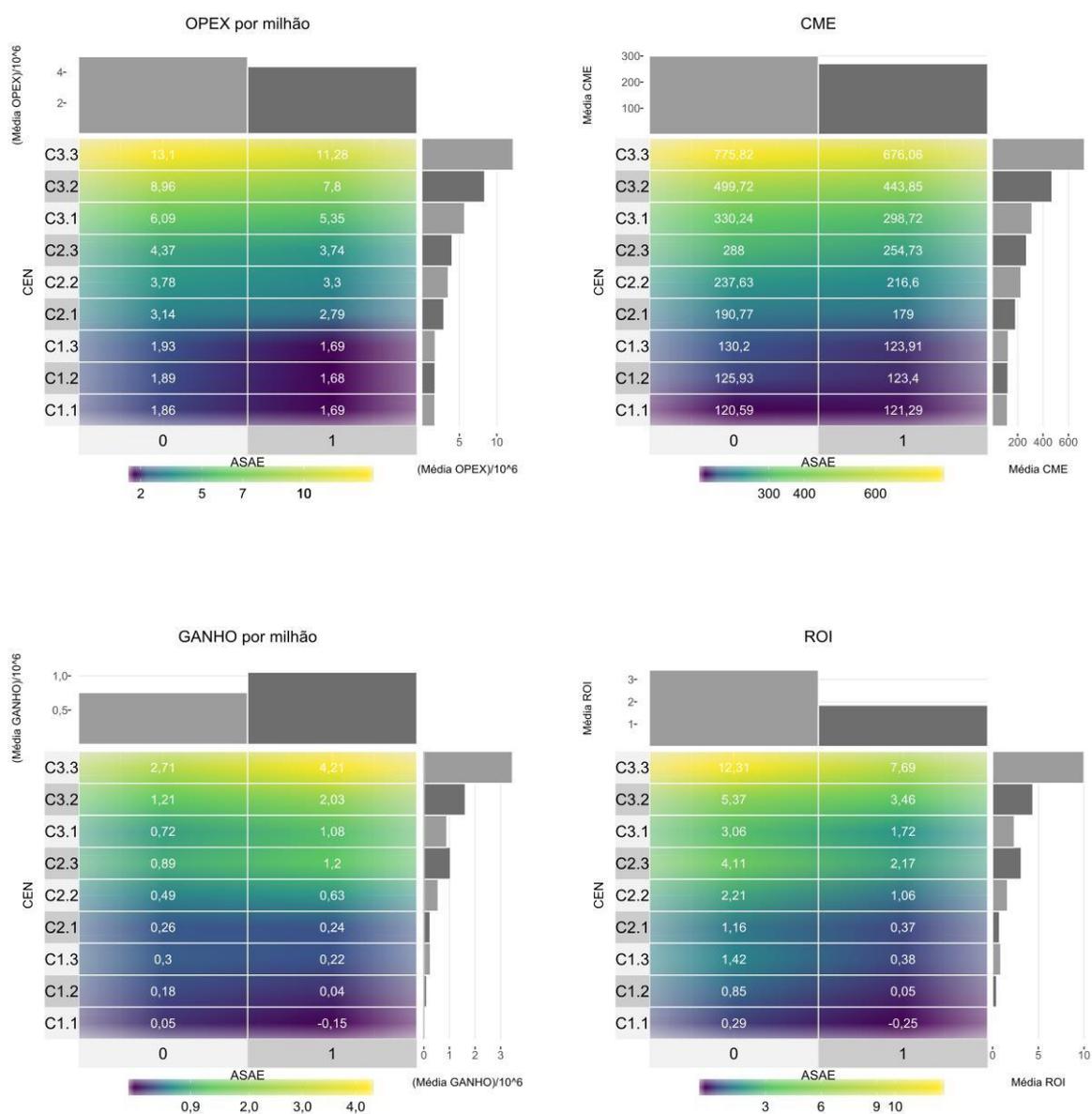
Gráfico 4 – *Heatmap* das Variáveis de Resposta da Firma AT em relação aos Cenários e à AMGD



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Conforme pode ser observado no Gráfico 5, a utilização de SAE apresenta impacto significativo nas variáveis de resposta, incluindo a redução do ROI médio quando empregado o SAE. Esse resultado pode ser explicado por algumas características do SAE, tais como a possibilidade de usar a energia armazenada para eventualmente suprir a demanda no horário de pico e a redução de perdas por interrupção transitória no fornecimento de energia elétrica.

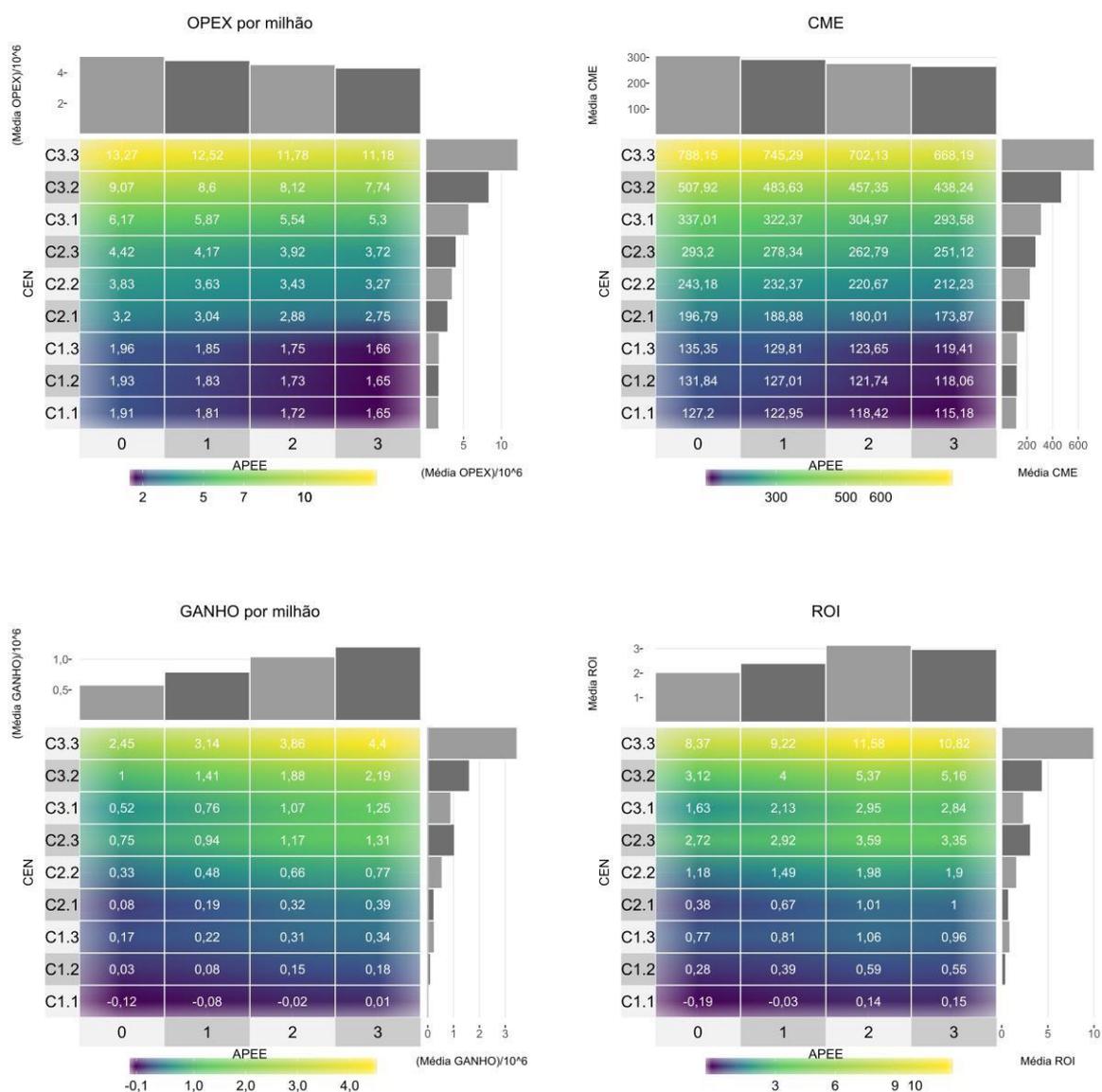
Gráfico 5 – Heatmap das Variáveis de Resposta da Firma AT em relação aos Cenários e ao ASAE



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Ao analisar o Gráfico 6, é possível constatar que o GANHO apresenta, em média, aumento superior a 100% quando se considera o impacto da adoção de PEE. Entretanto, esse aumento do GANHO é observado principalmente nos cenários de alto custo de energia, o que justificaria a utilização de PEE. O uso combinado de SGE e CRG representa impactos mais positivos no GANHO, apesar de uma pequena redução no ROI.

Gráfico 6 – Heatmap da Firma AT em relação aos Cenários e à APEE



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.1.5. Análise de Componentes Principais para a Firma AT

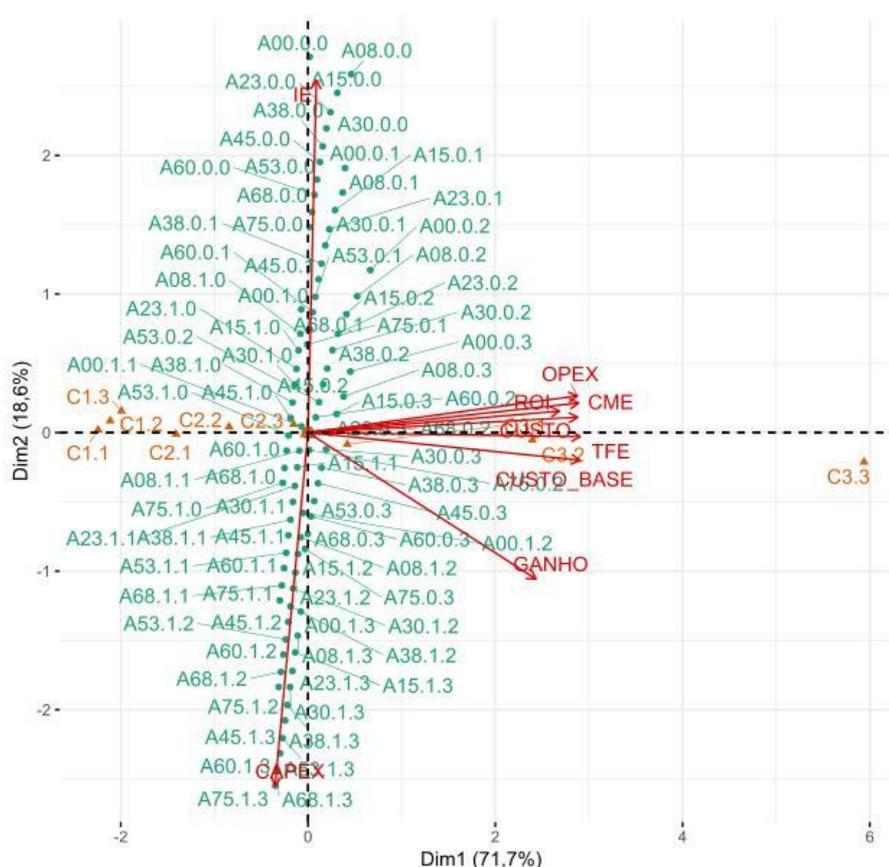
Com o intuito de visualizar as correlações existentes entre as variáveis de interesse, foram construídos mapas perceptuais via Análise de Componentes Principais. Estes também permitem verificar como as observações se associam às variáveis. No Gráfico 7, apresenta-se o mapa perceptual obtido via análise de componentes principais junto com os Cenários e as Ações de Eficiência Energética. Pode-se constatar que o primeiro componente principal foi capaz de explicar 71,7% da variabilidade total das variáveis, enquanto o segundo componente explicou 18,6%; logo,

a quantidade total da variabilidade explicada pelos dois primeiros componentes foi igual a 90,3%, sendo esse valor considerado satisfatório (> 50,00%).

É nítido que as variáveis OPEX, ROI, CME, CUSTO, TFE, CUSTO BASE e GANHO tiveram alta correlação positiva, visto que as setas apontam no mesmo sentido. Analisando o posicionamento dos cenários nos quadrantes, é possível perceber como ocorre a associação entre eles e as variáveis. OPEX, ROI, CME, CUSTO, TFE, CUSTO BASE e GANHO crescem para o sentido da direita, onde se encontra o cenário C3.3, logo este se associa a altos valores dessas variáveis.

Por fim, analisando o posicionamento das AEE, é possível chegar a conclusões semelhantes à citada acima. A A75.1.3, por exemplo, encontra-se no quadrante inferior esquerdo, associando-se a valores baixos das variáveis CME, OPEX, ROI, CUSTO, TFE, GANHO e CUSTO BASE e a valores altos da variável CAPEX.

Gráfico 7 – Análise de Componentes Principais da Firma AT

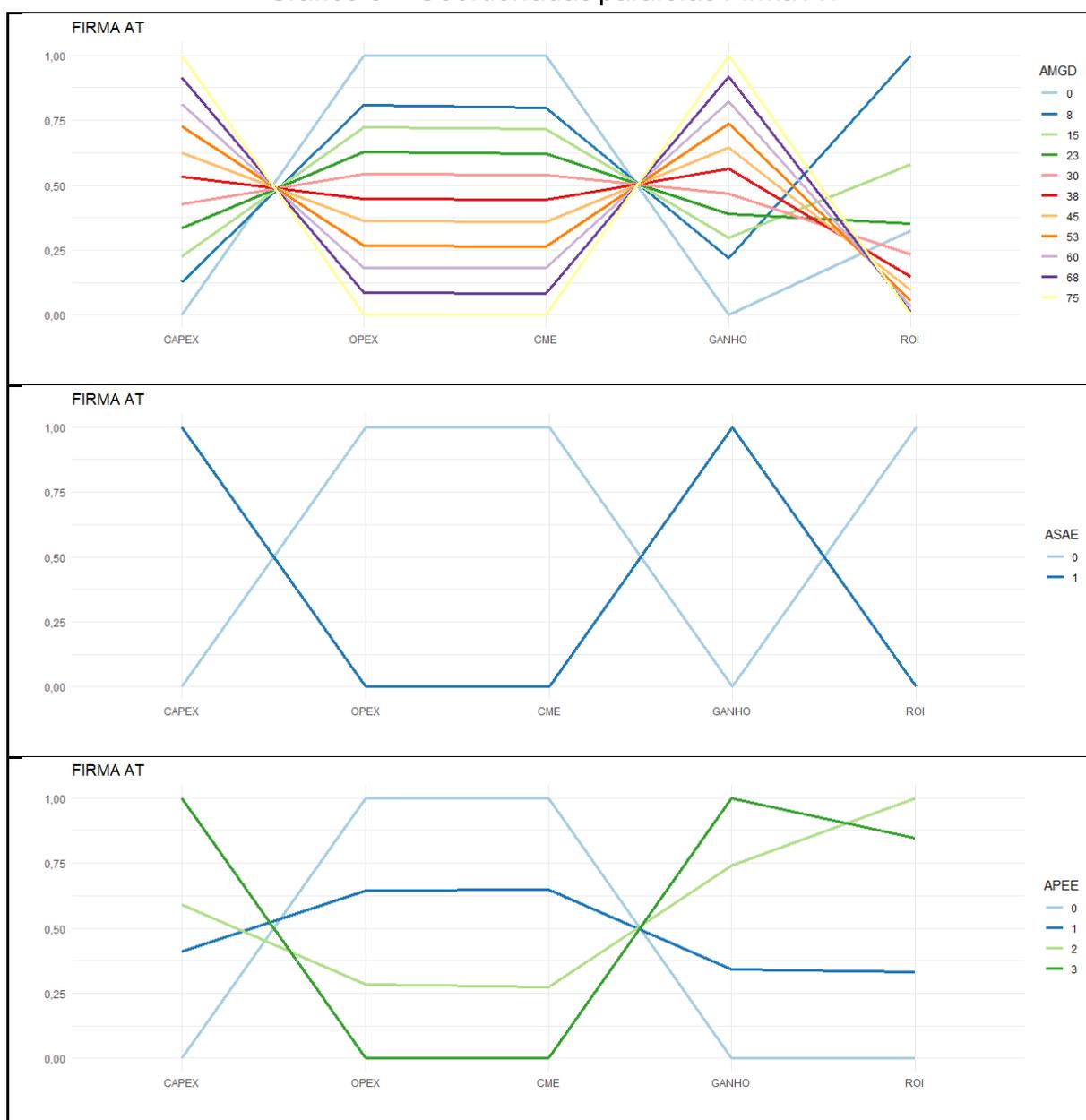


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.1.6. Gráficos de coordenadas paralelas para a Firma AT

A seguir, são apresentados os gráficos de coordenadas paralelas das médias das variáveis de resposta CAPEX, OPEX, CME, GANHO e ROI em relação às diferentes escolhas de AMGD, ASAE e APEE, no contexto da Firma AT. Esses gráficos permitem analisar como diversas variáveis se comportam com relação aos agrupamentos presentes nos dados de resposta.

Gráfico 8 – Coordenadas paralelas Firma AT



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Conforme observado no Gráfico 8, é possível comparar o comportamento das variáveis de resposta para as opções testadas no modelo. Em relação à capacidade instalada de MGD, as relações em CAPEX, OPEX, CME e GANHO apresentam um padrão que confirma o impacto positivo da adoção de MGD até o limite de 75kW estabelecido por lei. Dessa forma, para a firma AT, quanto maior é a capacidade instalada, menores são os valores de OPEX e CME e maior é o GANHO. Entretanto, um GANHO maior não representa necessariamente um maior ROI médio. Esse comportamento revelado pelo MDAEE pode refletir insuficiência da utilização do ROI de forma isolada para analisar decisões de investimentos com as características apresentadas pela Firma AT.

5.1.7. Conclusões da Análise de AT

A partir da análise dos resultados, é possível elaborar uma visão geral sobre o comportamento da Firma AT em relação aos cenários e às variáveis utilizados. Inicialmente, nota-se uma ausência de correlação entre IE e os diferentes cenários, o que pode confirmar que a IE não sofre influência de fatores exógenos. Em outras palavras, a variação da IE é obtida somente por variáveis internas.

Observa-se que os valores do CME nos cenários com panoramas macroenergéticos diferentes são estatisticamente diferentes. Se fatores externos não influenciam a IE, as variáveis macroenergéticas têm influência direta sobre o CME. Entretanto, não é possível afirmar que existe diferença significativa para o CME nos cenários em que o ambiente para microgeração distribuída é diferente. Tal comportamento também ocorre em relação à OPEX quando ocorre pequena variação de incentivos fiscais. Assim, entre os cenários sem incentivo (cenários x.1) e os cenários com incentivo intermediário (cenários x.2), os valores não apresentam diferenças significativas em relação à OPEX.

Uma avaliação importante para os decisores é em relação ao GANHO. Em algumas situações em que a energia tem custo baixo e em que não existem incentivos para MGD, o GANHO é negativo. Isso significa que, nessas circunstâncias, não é atrativo investir em AEE, e medidas nesse sentido são configuradas como sobreinvestimento. Por outro lado, em todos os demais cenários o GANHO é positivo, sendo maior na medida em que o custo de energia comprada é mais elevado e quando as condições para MGD são mais favoráveis.

A utilização de SAE se mostrou vantajosa se analisada isoladamente. Como mencionado, esse resultado pode ser explicado por algumas características do SAE, dentre elas a possibilidade de usar a energia armazenada para eventualmente suprir a demanda no horário de pico e reduzir perdas por interrupção transitória no fornecimento de energia elétrica.

Sob o ponto de vista gerencial, a visualização da ação neutralizadora que a MGD pode exercer no CME passa a ser um fator relevante para a tomada de decisão. Em outras palavras, a utilização desse modelo permite aos gestores visualizar o impacto da inércia gerencial, estimando quanto poderá custar para a empresa não investir em Ações de Eficiência Energética. Por fim, destaca-se que a análise por meio do MDAEE permitiu visualizar uma possível insuficiência da utilização do ROI de forma isolada para analisar decisões de investimentos com as características apresentadas pela Firma AT.

5.2 RESULTADOS PARA A FIRMA BT

A Firma BT é uma empresa brasileira especializada em montagens de circuitos impressos dos tipos *surface-mount device* (SMD) e *pin through hole* (PTH). O volume de produção anual varia entre 5000 placas/mês e 12000 placas/mês. Situada em Gravataí/RS, a Firma BT tem em seu quadro 13 funcionários. O processo produtivo envolve operação manual com apoio de máquinas para inserção de componentes, solda e manufatura de transformadores toroidais. A unidade monta produtos sob demanda e não realiza compra de materiais, que são adquiridos pelo cliente que solicita a montagem dos componentes.

O tipo de tarifa da empresa é a convencional, dentro do subgrupo B3. As Unidades Consumidoras desse grupo são classificadas como Baixa Tensão (BT) e não possuem demanda contratada, tampouco ultrapassagem de demanda. Essa característica, além do consumo, são os fatores que mais diferenciam a Firma BT da Firma AT em relações aos aspectos de fornecimento de energia. As demais características relevantes para este estudo são apresentadas na Tabela 42.

Tabela 42 – Dados de energia da firma BT

Item	Dado	Fonte
Tipo de Tarifa	Convencional	
Tensão Conectada	220v/380v	
Subgrupo de Tensão	B3	
Demanda Contratada	não aplicável	
% de Demanda Ultrapassada	não aplicável	
Consumo Médio Anual Fora de Ponta	29,112 MWh	Fatura de Energia Elétrica
Consumo Médio Anual Ponta	não aplicável	
TE - Tarifa de Energia (sem impostos)	R\$ 263/MWh	
TUSD	R\$ 265/MWh	
Impostos (ICMS, PIS, COFINS)	24,49%	
Localização (Latitude, Longitude)	-30.000869° -51.163672°	
Azimute	0°	
Inclinação dos painéis	28°	(ESMAP et al., 2019)
Altitude	54 m (a.n.m)	
Geração média anual (kWh) por potência instalada (kWp)	1382 kWh.ano/kWp	
Potencial de EE	15%	Dados da empresa
Produção anual (UEP)	108000 UEPs	Dados da empresa

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

5.2.1. Análise descritiva das variáveis de resposta da Firma BT

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos com relação à Firma BT. Na Tabela 43, tem-se a análise descritiva das variáveis de resposta com relação à empresa B. Pode-se constatar que a TFE apresentou média de 1,67 e desvio padrão de 1,29. Em 50% das simulações, a IE foi de, no máximo, 0,26, e em 75% das simulações o CME obteve o valor máximo de 0,48. O ROI apresentou valores dentro do intervalo de -1,22 e 13,30, e o GANHO apresentou valor máximo de 2.051.249,43. Entretanto, o primeiro quartil do GANHO explicitou valores negativos.

Tabela 43 – Descrição das variáveis de resposta

Variável	N	Média	D.P.	Mín.	1°Q	2°Q	3°Q	Máx.
TFE	792	1,67	1,29	0,31	0,85	1,32	1,89	8,53
IE	792	0,26	0,01	0,25	0,25	0,26	0,27	0,28
CME	792	0,43	0,33	0,08	0,22	0,34	0,48	2,26
CAPEX	792	200.260,78	104.372,51	0,00	116.476,32	201.804,04	287.645,60	418.635,50
OPEX	792	357.659,13	361.018,54	29.726,37	121.418,96	249.398,62	440.704,84	2.335.891,23
CUSTO	792	557.919,92	339.049,44	133.790,71	334.843,65	452.809,58	660.803,51	2.335.891,23
CUSTO BASE	792	780.928,94	646.150,68	243.721,80	292.507,14	560.232,73	808.542,21	2.335.891,23
GANHO	792	223.009,02	533.176,27	-379.217,05	-45.714,27	48.059,91	308.866,44	2.051.249,43
ROI	792	1,40	2,89	-1,22	-0,27	0,36	1,60	13,30

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 44, são apresentadas as correlações existentes entre as variáveis de resposta. A matriz de correlação de *Pearson* dos dados apresenta variáveis com

alta correlação positiva para valores positivos próximos a 1. As variáveis com alta correlação negativa apresentam valores negativos próximos a -1. Destaca-se que foram identificadas correlações negativas altas.

Tabela 44 – Correlações entre as variáveis de resposta

Variáveis	Correlações								
	TFE	IE	CME	CAPEX	OPEX	CUSTO	CUSTO BASE	GANHO	ROI
TFE	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
IE	-0,04	1,00	-	-	-	-	-	-	-
CME	1,00	0,01	1,00	-	-	-	-	-	-
CAPEX	-0,24	-0,16	-0,25	1,00	-	-	-	-	-
OPEX	0,99	0,03	0,99	-0,35	1,00	-	-	-	-
CUSTO	0,98	-0,02	0,98	-0,06	0,96	1,00	-	-	-
CUSTO BASE	0,54	0,00	0,54	-0,05	0,55	0,57	1,00	-	-
GANHO	0,04	0,01	0,03	-0,02	0,05	0,05	0,85	1,00	-
ROI	0,30	0,06	0,30	-0,19	0,31	0,27	0,87	0,88	1,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Diferentemente da Firma AT, as variáveis CAPEX e IE apresentam correlações mais fracas. Embora não seja possível constatar pela correlação, supõe-se que o aumento gradual da utilização de Ações de Eficiência Energética (AEE) não represente necessariamente benefício na maioria das situações.

Na Tabela 45, apresenta-se os resultados com relação à verificação da normalidade das variáveis de resposta. Os valores-p são referentes ao teste de *Shapiro-Wilk*, que testa a hipótese de normalidade. Nota-se que todos os valores-p foram inferiores a 0,05, portanto, conclui-se que nenhuma das variáveis apresenta distribuição normal. Dessa forma, para as comparações posteriores, a melhor opção é a utilização de abordagens não paramétricas.

Tabela 45 – Testes de normalidade

Variável	w	valor-p ¹
TFE	0,748	<0,0001
IE	0,933	<0,0001
CME	0,748	<0,0001
CAPEX	0,974	<0,0001
OPEX	0,743	<0,0001
CUSTO	0,809	<0,0001
CUSTO BASE	0,753	<0,0001
GANHO	0,671	<0,0001
ROI	0,692	<0,0001

¹Shapiro-Wilk

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

5.2.2. Comparação das variáveis de resposta da Firma BT em relação aos Cenários

Na Tabela 46, tem-se a comparação da variável de resposta Tarifa Final de Energia (TFE) entre os Cenários e o valor-p referente ao teste de *Kruskal-Wallis*. Pode-se constatar que as simulações referentes ao Cenário C1.1 apresentaram média de 1,09 e erro padrão de 0,02. 50% das simulações referentes ao Cenário C1.2 revelaram TFE de, no máximo, 0,97. Como o valor-p encontrado foi menor do que 0,05, é possível afirmar que pelo menos um par de cenários apresentou medianas significativamente diferentes.

Tabela 46 – Comparação de TFE em relação aos Cenários

Variável	Cenários	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
TFE	C1.1	88	1,09	0,02	0,92	1,05	1,25	<0,001
	C1.2	88	0,97	0,02	0,84	0,97	1,10	
	C1.3	88	0,70	0,03	0,53	0,68	0,85	
	C2.1	88	1,37	0,02	1,23	1,36	1,48	
	C2.2	88	1,62	0,02	1,45	1,58	1,76	
	C2.3	88	1,09	0,08	0,58	0,75	1,53	
	C3.1	88	1,99	0,03	1,77	1,89	2,14	
	C3.2	88	3,48	0,05	3,13	3,26	3,77	
	C3.3	88	2,76	0,29	0,76	0,95	5,05	

¹ Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Os valores-p referentes ao teste de *Nemenyi* se encontram na Tabela 47. Todas as células que apresentaram valor-p inferior a 0,05 representam diferenças significativas entre os cenários. Pode-se constatar, por exemplo, que os Cenários C1.3 e C1.2 apresentaram medianas com relação à TFE significativamente iguais (valor-p>0,05). Os valores significativos estão destacados na cor verde.

Tabela 47 – Comparações múltiplas de TFE em relação aos Cenários

Cenários	Comparações Múltiplas - TFE							
	C1.1	C1.2	C1.3	C2.1	C2.2	C2.3	C3.1	C3.2
C1.2	0,96	-	-	-	-	-	-	-
C1.3	0,00	0,10	-	-	-	-	-	-
C2.1	0,20	0,00	0,00	-	-	-	-	-
C2.2	0,00	0,00	0,00	0,57	-	-	-	-
C2.3	0,88	1,00	0,20	0,00	0,00	-	-	-
C3.1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,57	0,00	-	-
C3.2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	-
C3.3	0,18	0,00	0,00	1,00	0,60	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 48, tem-se a comparação de IE em relação aos Cenários. Constatase que os Cenários apresentaram a mesma sequência de valores com relação à IE, visto que explicitam as mesmas medidas com relação à variável, reproduzindo o mesmo comportamento da Firma AT.

Tabela 48 – Comparação de IE em relação aos Cenários

Variável	Cenários	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
IE	C1.1	88	0,26	0,00	0,25	0,26	0,27	1,00
	C1.2	88	0,26	0,00	0,25	0,26	0,27	
	C1.3	88	0,26	0,00	0,25	0,26	0,27	
	C2.1	88	0,26	0,00	0,25	0,26	0,27	
	C2.2	88	0,26	0,00	0,25	0,26	0,27	
	C2.3	88	0,26	0,00	0,25	0,26	0,27	
	C3.1	88	0,26	0,00	0,25	0,26	0,27	
	C3.2	88	0,26	0,00	0,25	0,26	0,27	
	C3.3	88	0,26	0,00	0,25	0,26	0,27	

¹ Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 49, apresenta-se a comparação de CME em relação aos Cenários. Pode-se constatar que as simulações referentes ao Cenário C1.1 apresentaram média de CME igual a 0,28 e erro padrão de 0,01. 50% das simulações referentes ao Cenário C1.2 mostraram valor de CME de, no máximo, 0,25. Como o valor-p referente ao teste de *Kruskal-Wallis* foi menor do que 0,05, é possível afirmar que pelo menos um par de Cenários apresentou medianas com relação ao CME significativamente diferentes.

Tabela 49 – Comparação de CME em relação aos Cenários

Variável	Cenários	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
CME	C1.1	88	0,28	0,01	0,24	0,27	0,33	<0,001
	C1.2	88	0,25	0,01	0,22	0,25	0,29	
	C1.3	88	0,18	0,01	0,14	0,17	0,22	
	C2.1	88	0,35	0,00	0,32	0,35	0,38	
	C2.2	88	0,42	0,01	0,37	0,41	0,45	
	C2.3	88	0,28	0,02	0,15	0,19	0,38	
	C3.1	88	0,51	0,01	0,45	0,48	0,54	
	C3.2	88	0,88	0,01	0,80	0,83	0,94	
	C3.3	88	0,70	0,07	0,19	0,23	1,24	

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 50, tem-se os valores-p do teste de *Nemenyi*, referentes às comparações múltiplas de CME em relação aos cenários. Dentre as constatações

observadas, é possível destacar que a maioria dos cenários apresentou medianas com relação ao CME significativamente diferentes, visto que o valor-p apresentado foi menor do que 0,05. Entretanto, não é possível identificar um padrão em relação a comparações múltiplas tal qual foi identificado no contexto da Firma AT.

Tabela 50 – Comparações múltiplas de CME em relação aos Cenários

Cenários	Comparações Múltiplas - CME							
	C1.1	C1.2	C1.3	C2.1	C2.2	C2.3	C3.1	C3.2
C1.2	0,95	-	-	-	-	-	-	-
C1.3	0,00	0,09	-	-	-	-	-	-
C2.1	0,28	0,00	0,00	-	-	-	-	-
C2.2	0,00	0,00	0,00	0,49	-	-	-	-
C2.3	0,81	1,00	0,24	0,00	0,00	-	-	-
C3.1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	0,00	-	-
C3.2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	-
C3.3	0,32	0,00	0,00	1,00	0,44	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 51, explicita-se a comparação de CAPEX em relação aos Cenários. Dentre as conclusões encontradas, pode-se destacar que as simulações referentes ao Cenário C1.1 apresentaram média em relação à CAPEX igual a 215.802,10 e erro padrão igual a 11.966,96. 50% das simulações referentes ao Cenário C2.1 apresentaram valor de CAPEX de, no máximo, 217883,10. Pelo valor-p encontrado, maior do que 0,05, pode-se afirmar que com relação à CAPEX todos os cenários apresentaram medianas significativamente iguais, dentro do resultado esperado para o modelo.

Tabela 51 – Comparação de CAPEX em relação aos Cenários

Variável	Cenários	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
CAPEX	C1.1	88	215.802,10	11.966,96	126.403,00	217.735,40	310.809,60	0,19
	C1.2	88	200.015,80	11.071,51	117.321,60	201.804,00	287.897,70	
	C1.3	88	184.222,40	10.176,21	108.178,10	185.865,60	264.978,70	
	C2.1	88	215.949,80	11.967,70	126.550,70	217.883,10	310.957,30	
	C2.2	88	200.165,30	11.072,33	117.471,10	201.953,50	288.047,20	
	C2.3	88	184.371,80	10.177,11	108.178,10	186.015,10	265.128,20	
	C3.1	88	216.393,00	11.970,08	126.993,90	218.326,20	311.400,50	
	C3.2	88	200.610,20	11.074,91	117.723,20	202.398,50	288.492,10	
	C3.3	88	184.816,80	10.179,91	108.178,10	186.460,10	265.573,20	

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 52, apresenta-se a comparação de OPEX em relação aos Cenários. Pode-se constatar que as simulações referentes ao Cenário C3.1 apresentaram média

com relação à OPEX de 503.608,77. 50% das simulações referentes ao Cenário C2.2 evidenciaram valor de OPEX de, no máximo, 266.095,72. Pelo valor-p (<0,05) encontrado, pode-se afirmar que pelo menos um par de cenários apresentou medianas com relação à OPEX significativamente diferentes. O menor valor médio estimado foi no cenário C1.3, que representa baixo custo de compra de energia e existência de incentivos fiscais para MGD.

Tabela 52 – Comparação de OPEX em relação aos Cenários

Variável	Cenários	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
OPEX	C1.1	88	186.876,98	2.634,47	168.561,64	184.197,01	200.963,80	
	C1.2	88	136.258,06	5.253,55	105.250,01	121.314,36	139.080,30	
	C1.3	88	93.067,38	7.921,46	49.104,76	62.187,93	101.604,90	
	C2.1	88	284.177,74	5.107,28	252.499,78	268.971,88	292.633,00	
	C2.2	88	308.583,26	9.821,73	252.233,73	266.095,72	331.963,60	<0,001
	C2.3	88	196.677,16	22.044,12	68.656,63	81.855,82	304.939,80	
	C3.1	88	503.608,77	12.645,80	423.698,72	444.392,40	567.419,10	
	C3.2	88	855.829,32	20.987,75	724.818,47	758.300,71	952.532,90	
	C3.3	88	653.853,54	77.219,45	119.303,80	161.491,61	1.214.803,50	

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Apresenta-se, na Tabela 53, os valores-p, referentes às comparações múltiplas, obtidos a partir do teste de *Nemenyi*. Dentre as conclusões evidenciadas, pode-se destacar que os Cenários C2.2 e C1.1 apresentaram medianas com relação à OPEX significativamente diferentes (valor-p<0,05). Os Cenários C2.3 e C1.3 mostraram medianas com relação à OPEX significativamente iguais (valor-p>0,05).

Tabela 53 – Comparações múltiplas de OPEX em relação aos Cenários

Cenários	Comparações Múltiplas - OPEX							
	C1.1	C1.2	C1.3	C2.1	C2.2	C2.3	C3.1	C3.2
C1.2	0,60	-	-	-	-	-	-	-
C1.3	0,00	0,43	-	-	-	-	-	-
C2.1	0,01	0,00	0,00	-	-	-	-	-
C2.2	0,00	0,00	0,00	1,00	-	-	-	-
C2.3	0,88	1,00	0,16	0,00	0,00	-	-	-
C3.1	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	-	-
C3.2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	-
C3.3	0,05	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 54, tem-se a comparação de CUSTO em relação aos Cenários. Pode-se constatar que 75% das simulações referentes ao Cenário C1.1 apresentaram valor de CUSTO de, no máximo, 499580,90. 50% das simulações referentes ao

Cenário C1.2 evidenciaram valor de CUSTO de, no máximo, 319791,20. Pelo valor-p encontrado, pode-se afirmar que pelo menos um par de Cenários apresentou medianas com relação ao CUSTO significativamente diferentes.

Tabela 54 – Comparação de CUSTO em relação aos Cenários

Variável	Cenários	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
CUSTO	C1.1	88	402.679,10	11.972,34	309.643,90	385.239,40	499.580,90	
	C1.2	88	336.273,80	9.354,75	269.426,70	319.791,20	410.344,90	
	C1.3	88	277.289,70	7.991,25	225.621,10	279.298,70	338.277,40	
	C2.1	88	500.127,60	10.005,17	427.897,40	470.543,90	576.458,30	
	C2.2	88	508.748,50	8.191,74	442.499,70	505.823,30	570.941,90	<0,001
	C2.3	88	381.049,00	15.526,01	276.838,00	349.520,00	428.290,70	
	C3.1	88	720.001,70	7.785,46	655.294,50	719.436,50	777.437,50	
	C3.2	88	1.056.439,50	13.554,89	956.989,30	1.028.736,70	1.108.692,40	
	C3.3	88	838.670,30	68.500,63	374.586,90	466.954,30	1.318.441,60	

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 55, apresenta-se as comparações múltiplas de CUSTO com relação aos Cenários. Consta-se que os Cenários C3.3 e C3.1 apresentaram medianas com relação ao CUSTO significativamente diferentes, visto que o valor-p foi igual a 0,03 (<0,05). Os Cenários C1.3 e C1.2 evidenciaram medianas com relação ao CUSTO significativamente iguais (valor-p>0,05).

Tabela 55 – Comparações múltiplas de CUSTO em relação aos Cenários

Cenários	Comparações Múltiplas - CUSTO							
	C1.1	C1.2	C1.3	C2.1	C2.2	C2.3	C3.1	C3.2
C1.2	0,53	-	-	-	-	-	-	-
C1.3	0,00	0,69	-	-	-	-	-	-
C2.1	0,06	0,00	0,00	-	-	-	-	-
C2.2	0,02	0,00	0,00	1,00	-	-	-	-
C2.3	0,99	0,98	0,07	0,00	0,00	-	-	-
C3.1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-
C3.2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	-
C3.3	0,00	0,00	0,00	0,99	1,00	0,00	0,03	0,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 56, tem-se a comparação de CUSTO BASE com relação aos Cenários. Destaca-se que os erros padrão encontrados foram iguais a 0, pois, tendo um Cenário definido, o valor de CUSTO BASE é fixo. Nesse caso, a realização de comparações múltiplas é desnecessária, visto que os dados não apresentam variabilidade.

Tabela 56 – Comparação de CUSTO BASE em relação aos Cenários

Variável	Cenários	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
CUSTO BASE	C1.1	88	243.721,80	0,00	243.721,80	243.721,80	243.721,80	
	C1.2	88	269.206,80	0,00	269.206,80	269.206,80	269.206,80	
	C1.3	88	292.507,10	0,00	292.507,10	292.507,10	292.507,10	
	C2.1	88	413.839,10	0,00	413.839,10	413.839,10	413.839,10	
	C2.2	88	560.232,70	0,00	560.232,70	560.232,70	560.232,70	<0,001
	C2.3	88	724.699,10	0,00	724.699,10	724.699,10	724.699,10	
	C3.1	88	808.542,20	0,00	808.542,20	808.542,20	808.542,20	
	C3.2	88	1.379.720,30	0,00	1.379.720,30	1.379.720,30	1.379.720,30	
	C3.3	88	2.335.891,20	0,00	2.335.891,20	2.335.891,20	2.335.891,20	

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 57, apresenta-se a comparação de GANHO em relação aos Cenários. Pode-se concluir que as simulações referentes ao Cenário C1.1 apresentaram média com relação ao ganho de -158957,28 mediana de -141517,57. Pelo valor-p do teste de *Kruskal-Wallis*, pode-se afirmar que pelo menos um par de Cenários apresentou medianas significativamente diferentes com relação ao GANHO.

Tabela 57 – Comparação de GANHO em relação aos Cenários

Variável	Cenários	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
GANHO	C1.1	88	-158.957,28	11.972,34	-255.859,07	-141.517,57	-65.922,06	
	C1.2	88	-67.066,98	9.354,75	-141.138,11	-50.584,36	-219,91	
	C1.3	88	15.217,41	7.991,25	-45.770,29	13.208,42	66.886,09	
	C2.1	88	-86.288,47	10.005,17	-162.619,24	-56.704,85	-14.058,34	
	C2.2	88	51.484,22	8.191,74	-107.09,16	54.409,46	117.733,04	<0,001
	C2.3	88	343.650,07	15.526,01	296.408,41	375.179,10	447.861,05	
	C3.1	88	88.540,47	7.785,46	31.104,75	89.105,68	153.247,75	
	C3.2	88	323.280,84	13.554,89	271.027,94	350.983,67	422.731,08	
	C3.3	88	1.497.220,91	68.500,63	1.017.449,64	1.868.936,95	1.961.304,36	

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Foi possível estimar o GANHO médio negativo em 3 cenários distintos. Os cenários C1.1 e C1.2 representam baixo custo de compra de energia. No cenário C2.1 o custo de energia fica no nível intermediário, mas não há incentivo fiscal. Analisando os demais cenários, pode-se constatar que somente a partir de um custo intermediário de energia é que o GANHO passa a ser positivo. O cenário 3.3 se destaca pelo valor estimado para o GANHO. Para a Firma BT, altos custos de compra de energia combinados com incentivos fiscais podem resultar em 1.497.220,91 de GANHO.

Analisando sob o ponto de vista da tomada de decisão, caso se confirmem as condições do cenário C3.3, a empresa pode deixar de economizar valores elevados.

Na Tabela 58, tem-se os resultados referentes às comparações múltiplas de GANHO com relação aos Cenários. Constata-se que os Cenários C1.1 e C1.2 apresentaram medianas com relação ao GANHO significativamente iguais (valor- $p > 0,05$). Os Cenários C2.2 e C3.1 mostraram medianas referentes ao GANHO significativamente iguais (valor- $p > 0,05$). Os cenários C1.1 e C1.3 evidenciaram medianas com relação ao GANHO significativamente diferentes (valor- $p < 0,05$).

Tabela 58 – Comparações múltiplas de GANHO em relação aos Cenários

Cenários	Comparações Múltiplas - GANHO							
	C1.1	C1.2	C1.3	C2.1	C2.2	C2.3	C3.1	C3.2
C1.2	0,45	-	-	-	-	-	-	-
C1.3	0,00	0,17	-	-	-	-	-	-
C2.1	0,80	1,00	0,03	-	-	-	-	-
C2.2	0,00	0,00	0,96	0,00	-	-	-	-
C2.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-
C3.1	0,00	0,00	0,24	0,00	0,96	0,00	-	-
C3.2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	-
C3.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,11

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 59, verifica-se a comparação de ROI com relação aos Cenários. Pode-se constatar que as simulações referentes ao Cenário C2.2 apresentaram média e erro padrão com relação ao ROI iguais a 0,44 e 0,07, respectivamente. 50% das simulações referentes ao Cenário C1.3 apresentaram valor de ROI de, no máximo, 0,1. 75% das simulações referentes ao Cenário C3.2 evidenciaram valor de ROI de, no máximo, 2,52. Pelo valor-p encontrado, pode-se afirmar que pelo menos um par de Cenários apresentou valores de medianas com relação ao ROI significativamente diferentes.

Tabela 59 – Comparação de ROI em relação aos Cenários

Variável	Cenários	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
ROI	C1.1	88	-0,65	0,03	-0,84	-0,71	-0,51	<0,001
	C1.2	88	-0,21	0,04	-0,51	-0,31	0,00	
	C1.3	88	0,24	0,06	-0,19	0,10	0,56	
	C2.1	88	-0,28	0,04	-0,57	-0,33	-0,10	
	C2.2	88	0,44	0,07	-0,04	0,31	0,81	
	C2.3	88	2,11	0,13	1,26	1,92	2,87	

C3.1	88	0,57	0,06	0,12	0,49	0,92
C3.2	88	1,92	0,11	1,08	1,87	2,52
C3.3	88	8,44	0,31	6,54	8,43	10,47

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Apresenta-se, na Tabela 60, as comparações múltiplas obtidas via teste de *Nemenyi*. Dentre as conclusões constatadas, pode-se destacar que os cenários C1.1 e C2.1 apresentaram valores de medianas com relação ao ROI significativamente iguais (valor-p>0,05). Os cenários C1.2 e C1.3 mostraram valores de medianas com relação ao ROI significativamente iguais (valor-p>0,05).

Tabela 60 – Comparações múltiplas de ROI em relação aos Cenários

Cenários	Comparações Múltiplas - ROI							
	C1.1	C1.2	C1.3	C2.1	C2.2	C2.3	C3.1	C3.2
C1.2	0,07	-	-	-	-	-	-	-
C1.3	0,00	0,16	-	-	-	-	-	-
C2.1	0,24	1,00	0,04	-	-	-	-	-
C2.2	0,00	0,00	0,98	0,00	-	-	-	-
C2.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-
C3.1	0,00	0,00	0,68	0,00	1,00	0,00	-	-
C3.2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	-
C3.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

5.2.3. Comparação das variáveis de resposta da Firma BT em relação às AEE

Na Tabela 61, apresenta-se a comparação da variável TFE em relação às categorias de AMGD. Pode-se destacar que cada categoria de AMGD apresentou 72 simulações. As simulações com AMGD igual a 0 obtiveram média de TFE igual a 2,85 e erro padrão de 0,27. As simulações com AMGD igual a 8 apresentaram mediana de 1,86. Pelo valor-p do teste de *Kruskal-Wallis*, pode-se afirmar que pelo menos um par de categorias de AMGD apresentou valores de medianas com relação à TFE significativamente diferentes.

Tabela 61 – Comparação de TFE em relação à AMGD

Variável	AMGD	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
TFE	0	72	2,85	0,27	1,17	2,11	2,99	<0,001
	8	72	2,39	0,22	0,99	1,86	2,47	
	15	72	1,99	0,17	0,88	1,56	2,23	
	23	72	1,56	0,13	0,79	1,17	1,97	
	30	72	1,34	0,10	0,70	1,15	1,81	

38	72	1,24	0,09	0,77	1,06	1,49
45	72	1,27	0,09	0,67	1,10	1,55
53	72	1,34	0,09	0,73	1,19	1,63
60	72	1,40	0,09	0,79	1,27	1,69
68	72	1,48	0,09	0,86	1,36	1,76
75	72	1,54	0,09	0,91	1,43	1,82

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 62, apresenta-se as comparações múltiplas de TFE em relação às categorias de AMGD, visto que na Tabela 50 o teste de *Kruskal-Wallis* foi significativo. Dentre as constatações, pode-se destacar que as simulações com AMGD igual a 0 e 15 apresentaram medianas com relação à TFE significativamente iguais (valor- $p > 0,05$). As simulações com AMGD igual a 23 e 0 apresentaram medianas com relação à TFE significativamente diferentes (valor- $p < 0,05$).

Tabela 62 – Comparações múltiplas de TFE em relação à AMGD

AMGD	Comparações Múltiplas - TFE									
	0	8	15	23	30	38	45	53	60	68
8	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0,72	0,99	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0,02	0,25	0,96	-	-	-	-	-	-	-
30	0,00	0,04	0,65	1,00	-	-	-	-	-	-
38	0,00	0,00	0,25	0,99	1,00	-	-	-	-	-
45	0,00	0,01	0,31	0,99	1,00	1,00	-	-	-	-
53	0,00	0,05	0,70	1,00	1,00	1,00	1,00	-	-	-
60	0,01	0,20	0,94	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	-	-
68	0,11	0,58	1,00	1,00	0,99	0,89	0,93	1,00	1,00	-
75	0,34	0,87	1,00	1,00	0,93	0,61	0,69	0,95	1,00	1,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 63, tem-se a comparação de IE em relação às categorias de AMGD. Consta-se que, como em relação aos Cenários, a IE apresentou a mesma sequência de valores referentes às categorias de AMGD, visto que as medidas dessas variáveis são as mesmas.

Tabela 63 – Comparação de IE em relação à AMGD

Variável	AMGD	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
IE	0	72	0,26	0,00	0,25	0,26	0,27	1,00
	8	72	0,26	0,00	0,25	0,26	0,27	
	15	72	0,26	0,00	0,25	0,26	0,27	

23	72	0,26	0,00	0,25	0,26	0,27
30	72	0,26	0,00	0,25	0,26	0,27
38	72	0,26	0,00	0,25	0,26	0,27
45	72	0,26	0,00	0,25	0,26	0,27
53	72	0,26	0,00	0,25	0,26	0,27
60	72	0,26	0,00	0,25	0,26	0,27
68	72	0,26	0,00	0,25	0,26	0,27
75	72	0,26	0,00	0,25	0,26	0,27

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 64, apresenta-se a comparação da variável CME em relação às categorias de AMGD. Pode-se destacar que as simulações com AMGD igual a 68 apresentaram média de CME igual a 0,38. 50% das simulações com AMGD igual a 53 mostraram valor de CME de, no máximo, 0,31. Pelo valor-p encontrado, pode-se afirmar que pelo menos um par de categorias de AMGD apresentou medianas com relação ao CME significativamente diferentes.

Tabela 64 – Comparação de CME em relação à AMGD

Variável	AMGD	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
	0	72	0,73	0,07	0,31	0,54	0,77	
	8	72	0,61	0,05	0,25	0,48	0,63	
	15	72	0,51	0,04	0,23	0,39	0,57	
	23	72	0,40	0,03	0,20	0,30	0,51	
	30	72	0,34	0,03	0,19	0,30	0,45	
CME	38	72	0,32	0,02	0,19	0,28	0,38	<0,001
	45	72	0,33	0,02	0,17	0,29	0,39	
	53	72	0,34	0,02	0,19	0,31	0,41	
	60	72	0,36	0,02	0,20	0,33	0,43	
	68	72	0,38	0,02	0,22	0,36	0,45	
	75	72	0,39	0,02	0,23	0,38	0,46	

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 65, visualiza-se as comparações múltiplas de CME obtidas via teste de *Nemenyi*. Pode-se constatar que as simulações com AMGD igual a 0 e 15 apresentaram medianas relativas ao CME significativamente iguais, pois o valor-p foi

de 0,71 ($>0,05$). As simulações com AMGD igual a 30 e 8 apresentaram medianas com relação ao CME significativamente diferentes, conforme destacado na cor verde.

Tabela 65 – Comparações múltiplas de CME em relação à AMGD

AMGD	Comparações Múltiplas - CME									
	0	8	15	23	30	38	45	53	60	68
8	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0,71	0,99	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0,02	0,21	0,95	-	-	-	-	-	-	-
30	0,00	0,03	0,62	1,00	-	-	-	-	-	-
38	0,00	0,00	0,22	0,99	1,00	-	-	-	-	-
45	0,00	0,00	0,28	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-
53	0,00	0,04	0,67	1,00	1,00	1,00	1,00	-	-	-
60	0,01	0,18	0,93	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	-	-
68	0,10	0,56	1,00	1,00	0,99	0,87	0,92	1,00	1,00	-
75	0,34	0,87	1,00	1,00	0,91	0,56	0,65	0,93	1,00	1,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 66, apresenta-se a comparação da variável CAPEX em relação às categorias de AMGD. Pode-se destacar que as simulações com AMGD igual a 23 apresentaram média de CAPEX igual a 140.751,08. As simulações com AMGD igual a 75 mostraram os maiores valores de média e mediana com relação à CAPEX, a saber, 354.308,01 e 351.856,01, respectivamente. Pelo valor-p ($<0,05$) encontrado, pode-se afirmar que pelo menos um par de categorias de AMGD apresentou valores de medianas com relação à CAPEX significativamente diferentes.

Visto que na Tabela 66 o valor-p do teste de *Kruskal-Wallis* foi significativo, apresenta-se, na Tabela 67, as comparações múltiplas para identificar quais pares de AMGD apresentaram medianas significativamente diferentes. Dentre as conclusões encontradas, pode-se notar que 0 e 15 apresentaram valores de mediana significativamente iguais (valor-p $>0,05$). 75 e 53 evidenciaram valores de mediana significativamente diferentes (valor-p, $<0,05$).

Tabela 66 – Comparação de CAPEX em relação à AMGD

Variável	AMGD	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P¹
CAPEX	0	72	33.124,40	2.792,41	10.969,91	32.127,58	55.341,73	<0,001
	8	72	73.645,38	2.834,95	51.741,23	72.648,55	95.862,71	
	15	72	105.602,39	2.892,88	83.698,24	104.605,56	127.819,71	

23	72	140.751,08	2.979,81	118.846,93	139.444,25	162.968,41
30	72	170.737,21	3.071,70	148.770,61	169.149,51	192.954,54
38	72	204.370,83	3.192,36	182.466,68	202.783,14	226.588,16
45	72	233.360,92	3.309,79	211.456,77	231.728,80	255.578,24
53	72	266.082,00	3.455,60	244.177,85	264.449,89	288.299,33
60	72	294.407,68	3.591,92	272.503,53	292.559,70	316.625,00
68	72	326.478,70	3.756,21	304.574,54	324.630,72	348.696,02
75	72	354.308,01	3.906,36	332.403,86	351.856,01	376.525,34

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Percebe-se que, em relação às comparações múltiplas de CAPEX e AMGD, as duas primeiras faixas de capacidade instalada não representam CAPEX estatisticamente diferente. Por exemplo, a CAPEX da faixa 23 não representa diferença significativa dos valores estimados para 8 e 15.

Tabela 67 – Comparações múltiplas de CAPEX em relação à AMGD

AMGD	Comparações Múltiplas - CAPEX									
	0	8	15	23	30	38	45	53	60	68
8	0,98	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0,28	0,98	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0,00	0,15	0,93	-	-	-	-	-	-	-
30	0,00	0,00	0,17	0,99	-	-	-	-	-	-
38	0,00	0,00	0,00	0,17	0,93	-	-	-	-	-
45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,98	-	-	-	-
53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,95	-	-	-
60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,98	-	-
68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,97	-
75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,49	1,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 68, pode-se verificar a comparação de OPEX em relação à AMGD. Constata-se que as simulações com AMGD igual a 53 apresentaram média com relação à OPEX igual a 245640,5. 75% das simulações com AMGD igual a 15 obtiveram valor de OPEX de, no máximo, 610520,4. Pelo valor-p encontrado, pode-se concluir que pelo menos um par de categorias de AMGD apresentou medianas com relação à OPEX significativamente diferentes.

Tabela 68 – Comparação de OPEX em relação à AMGD

Variável	AMGD	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
OPEX	0	72	745.669,70	72.241,24	277.432,66	537.796,40	793.581,70	<0,001
	8	72	600.341,80	57.788,97	205.719,01	436.454,70	695.699,70	
	15	72	473.241,20	45.859,96	169.993,80	321.321,10	610.520,40	

23	72	339.900,00	33.615,92	125.638,26	243.636,80	516.583,90
30	72	275.227,30	26.097,02	90.961,39	234.173,50	429.771,50
38	72	241.821,80	23.860,66	97.223,53	177.330,30	256.895,20
45	72	238.948,50	23.991,78	99.643,62	175.050,00	263.270,70
53	72	245.640,50	24.041,19	105.441,71	182.964,30	270.431,90
60	72	251.479,10	24.083,85	110.751,80	189.840,70	276.631,10
68	72	258.107,50	24.132,99	116.779,74	197.651,60	283.669,70
75	72	263.873,10	24.176,34	122.022,66	204.449,00	289.792,80

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 69, tem-se as comparações múltiplas de OPEX e AMGD. Pode-se notar que as simulações com AMGD igual a 75 e 15 apresentaram valores de medianas com relação à OPEX significativamente iguais (valor-p>0,05). As simulações com AMGD igual a 53 e 15 apresentaram valores de medianas com relação à OPEX significativamente diferentes (valor-p<0,05).

Tabela 69 – Comparações múltiplas de OPEX em relação à AMGD

AMGD	Comparações Múltiplas - OPEX									
	0	8	15	23	30	38	45	53	60	68
8	0,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0,53	0,99	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0,00	0,10	0,77	-	-	-	-	-	-	-
30	0,00	0,00	0,16	1,00	-	-	-	-	-	-
38	0,00	0,00	0,02	0,92	1,00	-	-	-	-	-
45	0,00	0,00	0,01	0,89	1,00	1,00	-	-	-	-
53	0,00	0,00	0,04	0,97	1,00	1,00	1,00	-	-	-
60	0,00	0,00	0,09	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	-	-
68	0,00	0,00	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-
75	0,00	0,01	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 70, apresenta-se a comparação de CUSTO com relação à AMGD. Pode-se constatar que as simulações com capacidade instalada igual a 30 obtiveram média com relação ao CUSTO igual a 445964,6. 25% das simulações com capacidade instalada igual a 68 obtiveram valor de CUSTO de, no máximo, 410.141,20. 50% das simulações com capacidade instalada igual 30 obtiveram valor de CUSTO de, no máximo, 391.379,60. Pelo valor-p encontrado, pode-se afirmar que pelo menos um par de categorias de AMGD apresentou valores de medianas com relação ao CUSTO significativamente diferentes.

Tabela 70 – Comparação de CUSTO em relação à AMGD

Variável	AMGD	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
----------	------	---	-------	------	-----	-----	-----	----------------------

	0	72	778.794,10	72.181,16	322.244,10	570.829,40	828.766,70	
	8	72	673.987,10	57.636,30	295.970,00	509.998,30	771.986,90	
	15	72	578.843,60	45.703,81	269.721,30	428.358,90	720.034,70	
	23	72	480.651,10	33.641,72	266.451,30	377.395,50	665.736,20	
	30	72	445.964,60	26.474,76	246.939,60	391.379,60	606.089,30	
CUSTO	38	72	446.192,60	24.650,49	284.254,70	402.023,60	494.557,80	<0,001
	45	72	472.309,40	24.992,61	306.969,00	426.755,00	533.015,60	
	53	72	511.722,50	25.172,53	343.874,80	470.043,50	576.458,30	
	60	72	545.886,80	25.330,65	375.111,40	506.788,40	614.092,10	
	68	72	584.586,20	25.513,99	410.141,20	547.158,90	656.728,50	
	75	72	618.181,10	25.676,71	440.546,80	582.205,20	693.746,60	

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 71, visualiza-se as comparações múltiplas de CUSTO em relação à AMGD, visto que na Tabela 70 o teste de *Kruskal-Wallis* foi significativo. Pode-se notar que as simulações com AMGD igual a 23 e 0 apresentaram medianas de CUSTO significativamente iguais (valor- $p > 0,05$). As simulações com AMGD igual a 75 e 38 mostraram medianas de CUSTO significativamente diferentes (valor- $p < 0,05$).

Tabela 71 – Comparações múltiplas de CUSTO em relação à AMGD

AMGD	Comparações Múltiplas - CUSTO									
	0	8	15	23	30	38	45	53	60	68
8	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0,92	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0,22	0,73	0,99	-	-	-	-	-	-	-
30	0,15	0,63	0,98	1,00	-	-	-	-	-	-
38	0,17	0,66	0,99	1,00	1,00	-	-	-	-	-
45	0,56	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-
53	0,98	1,00	1,00	0,97	0,93	0,95	1,00	-	-	-
60	1,00	1,00	1,00	0,61	0,50	0,53	0,90	1,00	-	-
68	1,00	1,00	0,82	0,12	0,07	0,08	0,38	0,93	1,00	-
75	1,00	0,91	0,36	0,01	0,01	0,01	0,07	0,57	0,96	1,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Percebe-se que, diferentemente da Firma AT, os custos atingem valores menores entre AMDG 30 e 38. Isso pode representar que investimentos em MGD com capacidades superiores podem resultar em sobreinvestimento e, conseqüentemente, aumentar os custos. Essa é uma informação importante para os gestores, pois pode auxiliar na avaliação e no adequado dimensionamento da capacidade instalada de MGD, considerando o comportamento das diferentes variáveis envolvidas no modelo proposto.

Na Tabela 72, há comparação de CUSTO BASE com relação à AMGD. Pode-se notar que o CUSTO BASE apresentou a mesma sequência de valores com relação às categorias de AMGD, visto que as medidas dessas variáveis são as mesmas.

Tabela 72 – Comparação de CUSTO BASE em relação à AMGD

Variável	AMGD	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
CUSTO BASE	0	72	780.928,90	76.635,55	292.507,10	560.232,70	808.542,20	1,00
	8	72	780.928,90	76.635,55	292.507,10	560.232,70	808.542,20	
	15	72	780.928,90	76.635,55	292.507,10	560.232,70	808.542,20	
	23	72	780.928,90	76.635,55	292.507,10	560.232,70	808.542,20	
	30	72	780.928,90	76.635,55	292.507,10	560.232,70	808.542,20	
	38	72	780.928,90	76.635,55	292.507,10	560.232,70	808.542,20	
	45	72	780.928,90	76.635,55	292.507,10	560.232,70	808.542,20	
	53	72	780.928,90	76.635,55	292.507,10	560.232,70	808.542,20	
	60	72	780.928,90	76.635,55	292.507,10	560.232,70	808.542,20	
	68	72	780.928,90	76.635,55	292.507,10	560.232,70	808.542,20	
75	72	780.928,90	76.635,55	292.507,10	560.232,70	808.542,20		

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 73, apresenta-se a comparação de GANHO e AMGD. Constata-se que as simulações com AMGD igual a 0 apresentaram, com relação ao GANHO, média de 2134,82 e erro padrão de 5993,24. 75% das simulações com AMGD igual a 8 obtiveram valor de GANHO de, no máximo, 154270,57. Pelo valor-p encontrado, pode-se afirmar que pelo menos um par de categorias de AMGD apresentou medianas de GANHO significativamente diferentes. Como na avaliação de CUSTO, os valores apresentados permitem identificar as faixas de capacidade instalada que apresentam maior GANHO. Assim, mesmo que o limite de capacidade instalada estabelecido por lei seja de 75kW, para a Firma BT as capacidades de 30 e 38kW representam o maior GANHO, levando-se em conta as variações dos demais fatores representados no modelo.

Tabela 73 – Comparação de GANHO em relação à AMGD

Variável	AMGD	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
GANHO	0	72	2.134,82	5.993,24	-38.798,33	0,00	14.474,14	<0,01
	8	72	106.941,80	20.728,15	7.551,78	51.932,45	154.270,57	
	15	72	202.085,35	34.521,77	25.439,80	102.910,32	286.753,04	
	23	72	300.277,87	50.490,14	36.443,59	151.834,14	424.401,20	

30	72	334.964,38	63.342,46	17.721,79	140.245,73	472.035,90
38	72	334.736,31	73.216,40	-24.785,71	113.237,74	449.109,25
45	72	308.619,52	75.659,30	-63.243,52	80.292,91	421.635,76
53	72	269.206,47	75.851,93	-106.686,25	43.093,49	382.881,86
60	72	235.042,14	76.012,55	-144.320,00	10.880,01	350.429,26
68	72	196.342,73	76.195,90	-186.956,46	25.603,84	313.934,87
75	72	162.747,86	76.356,27	-223.974,57	58.889,68	282.042,88

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 74, apresenta-se as comparações múltiplas obtidas via *Nemenyi*. Pode-se destacar que as simulações com AMGD igual a 45 e 0 obtiveram medianas de GANHO significativamente iguais (valor- $p > 0,05$). As simulações com AMGD igual 68 e 30 evidenciaram medianas de GANHO significativamente diferentes (valor- $p < 0,05$).

Tabela 74 – Comparações múltiplas de GANHO em relação à AMGD

AMGD	Comparações Múltiplas - GANHO									
	0	8	15	23	30	38	45	53	60	68
8	0,49	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0,05	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0,00	0,89	1,00	-	-	-	-	-	-	-
30	0,01	0,97	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-
38	0,08	1,00	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-	-
45	0,40	1,00	1,00	0,93	0,98	1,00	-	-	-	-
53	0,89	1,00	0,93	0,49	0,71	0,97	1,00	-	-	-
60	1,00	0,98	0,57	0,11	0,24	0,68	0,97	1,00	-	-
68	1,00	0,70	0,12	0,01	0,02	0,19	0,62	0,97	1,00	-
75	1,00	0,31	0,02	0,00	0,00	0,03	0,24	0,76	0,98	1,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 75, apresenta-se a comparação de Retorno sobre o Investimento (ROI) em relação à AMGD. Dentre as conclusões encontradas, pode-se destacar que as simulações com AMGD igual a 0 apresentaram média de ROI igual a 0,5 e erro padrão igual a 0,23. 75% das simulações com AMGD igual a 8 apresentaram valor de ROI de, no máximo, 1,82. Pelo valor- p encontrado, pode-se afirmar que pelo menos um par de categorias de AMGD apresentou medianas com relação ao ROI significativamente diferentes.

Tabela 75 – Comparação de ROI em relação à AMGD

Variável	AMGD	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
ROI	0	72	0,50	0,23	-0,72	0,00	0,82	<0,001
	8	72	1,76	0,34	0,12	0,79	1,82	

15	72	2,15	0,38	0,28	0,99	2,44
23	72	2,34	0,40	0,29	1,05	2,90
30	72	2,14	0,41	0,11	0,81	2,71
38	72	1,79	0,40	-0,13	0,60	2,15
45	72	1,45	0,36	-0,28	0,38	1,77
53	72	1,12	0,31	-0,41	0,18	1,44
60	72	0,90	0,28	-0,49	0,04	1,20
68	72	0,69	0,25	-0,57	-0,09	0,98
75	72	0,54	0,23	-0,63	-0,19	0,82

¹Kruskal-Wallis

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 76, estão as comparações múltiplas de ROI em relação à AMGD. Pode-se afirmar que as simulações com AMGD igual a 38 e 23 apresentaram medianas com relação ao ROI significativamente iguais (valor-p>0,05). As simulações com AMGD igual a 60 e 23 apresentaram medianas com relação ao ROI significativamente diferentes, pois o valor-p apresentado foi de 0,03 (<0,05).

Tabela 76 – Comparações múltiplas de ROI em relação à AMGD

AMGD	Comparações Múltiplas - ROI									
	0	8	15	23	30	38	45	53	60	68
8	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0,00	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0,00	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-	-
30	0,02	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-
38	0,28	1,00	0,98	0,95	1,00	-	-	-	-	-
45	0,75	0,99	0,75	0,61	0,95	1,00	-	-	-	-
53	0,98	0,80	0,28	0,17	0,61	0,98	1,00	-	-	-
60	1,00	0,41	0,06	0,03	0,22	0,80	0,99	1,00	-	-
68	1,00	0,10	0,01	0,00	0,04	0,39	0,84	0,99	1,00	-
75	1,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,15	0,57	0,94	1,00	1,00

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 77, apresenta-se a comparação de todas as variáveis de resposta em relação aos níveis de ASAE. Como o ASAE apresenta somente duas categorias, utilizou-se o teste de *Wilcoxon-Mann-Whitney* para determinar diferenças significativas entre as medianas das categorias de ASAE. Pode-se constatar que 50% das simulações com ASAE igual a 0 obtiveram TFE de, no máximo, 1,24, e que 50% das simulações com ASAE igual a 1 obtiveram TFE de, no máximo, 1,39, sendo que essa diferença é significativa (valor-p<0,05). 50% das simulações com ASAE igual a 0 obtiveram CAPEX de, no máximo, 182.466,68, e 50% das simulações com ASAE igual a 1 obtiveram CAPEX de, no máximo, 225.165,06, sendo essa diferença significativa (valor-p<0,05). Ainda, 50% das simulações com ASAE igual a 0 obtiveram OPEX de, no máximo, 245.747,66, e 50% das simulações com ASAE igual a 1

obtiveram OPEX de, no máximo, 253.981,76, sendo essa diferença não significativa (valor-p>0,05).

Tabela 77 – Comparação das variáveis de resposta em relação ao ASAE

Variável	ASAE	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P ¹
TFE	0	396	1,61	0,07	0,79	1,24	1,83	0,00
	1	396	1,74	0,06	0,93	1,39	1,93	
IE	0	396	0,27	0,00	0,26	0,27	0,27	0,00
	1	396	0,26	0,00	0,25	0,26	0,27	
CME	0	396	0,42	0,02	0,21	0,33	0,47	0,05
	1	396	0,44	0,02	0,24	0,35	0,48	
CAPEX	0	396	178.200,05	5.120,21	90.210,13	182.466,68	263.701,60	0,00
	1	396	222.321,52	5.138,79	137.909,02	225.165,06	310.112,87	
OPEX	0	396	357.491,73	18.558,79	116.064,53	245.747,66	440.952,90	0,40
	1	396	357.826,54	17.738,63	125.963,14	253.981,76	440.704,84	
CUSTO	0	396	535.691,78	17.381,49	305.513,22	425.074,68	639.893,83	0,00
	1	396	580.148,06	16.634,16	360.066,22	477.896,45	686.244,94	
CUSTO BASE	0	396	780.928,94	32.490,84	292.507,14	560.232,73	808.542,21	1,00
	1	396	780.928,94	32.490,84	292.507,14	560.232,73	808.542,21	
GANHO	0	396	245.237,16	26.620,85	-12640,87	61.671,41	330.420,40	0,00
	1	396	200.780,88	26.951,59	-67489,14	16.590,76	289.728,60	
ROI	0	396	1,78	0,16	-0,12	0,63	1,87	0,00
	1	396	1,02	0,12	-0,42	0,11	1,25	

¹ Wilcoxon-Mann-Whitney

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Na Tabela 78, tem-se a comparação de todas as variáveis de resposta em relação aos níveis de Prática de Eficiência Energética (APEE), além do valor-p referente ao teste de *Kruskal-Wallis* e as comparações múltiplas obtidas via teste de *Nemenyi*. Constata-se que as simulações com APEE igual a 0 obtiveram média de TFE igual a 1,65.

Tabela 78 – Comparação das variáveis de resposta em relação à APEE

Variável	APEE	N	Média	E.P.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Valor-P¹	Comparações Múltiplas		
									0	1	2
TFE	0	198	1,65	0,09	0,82	1,26	1,87	0,82	-	-	-
	1	198	1,68	0,09	0,85	1,32	1,87		0,96	-	-
	2	198	1,67	0,09	0,85	1,30	1,90		0,98	1,00	-
	3	198	1,70	0,09	0,88	1,35	1,90		0,82	0,98	0,96
IE	0	198	0,27	0,00	0,27	0,27	0,28	0,00	-	-	-
	1	198	0,26	0,00	0,25	0,26	0,26		0,00	-	-
	2	198	0,27	0,00	0,26	0,27	0,27		0,00	0,00	-
	3	198	0,25	0,00	0,25	0,25	0,26		0,00	0,00	0,00
CME	0	198	0,44	0,03	0,23	0,35	0,50	0,88	-	-	-
	1	198	0,42	0,02	0,22	0,34	0,47		0,96	-	-
	2	198	0,44	0,02	0,23	0,34	0,49		1,00	0,97	-
	3	198	0,42	0,02	0,22	0,34	0,46		0,94	1,00	0,95
CAPEX	0	198	189.197,12	7.407,32	107.145,45	190.800,39	277.079,08	0,25	-	-	-
	1	198	200.104,20	7.407,32	117.865,02	201.790,60	287.795,09		0,80	-	-
	2	198	200.417,37	7.413,88	117.455,95	202.738,72	288.299,33		0,78	1,00	-
	3	198	211.324,45	7.413,88	128.175,52	213.739,54	299.015,34		0,25	0,79	0,81
OPEX	0	198	374.819,07	27.034,55	123.883,88	259.177,65	460.206,89	0,64	-	-	-
	1	198	350.780,12	25.162,42	121.172,97	246.271,15	431.246,99		0,87	-	-
	2	198	364.337,89	26.149,59	122.329,67	254.603,99	446.342,40		0,99	0,96	-
	3	198	340.699,45	24.327,05	119.486,01	240.724,04	416.316,03		0,71	0,99	0,86
CUSTO	0	198	564.016,19	25.358,99	328.309,02	449.104,79	670.230,96	0,98	-	-	-
	1	198	550.884,32	23.660,27	330.828,74	449.074,11	652.785,66		1,00	-	-
	2	198	564.755,26	24.549,20	338.785,57	456.048,42	664.969,00		1,00	0,98	-
	3	198	552.023,89	22.907,45	340.310,86	455.834,86	659.287,89		1,00	1,00	1,00
CUSTO BASE	0	198	780.928,94	46.007,26	292.507,14	560.232,73	808.542,21	1,00	-	-	-
	1	198	780.928,94	46.007,26	292.507,14	560.232,73	808.542,21		1,00	-	-
	2	198	780.928,94	46.007,26	292.507,14	560.232,73	808.542,21		1,00	1,00	-
	3	198	780.928,94	46.007,26	292.507,14	560.232,73	808.542,21		1,00	1,00	1,00
GANHO	0	198	216.912,75	37.562,88	-41.922,46	39.116,69	295.139,91	0,94	-	-	-
	1	198	230.044,62	38.088,08	-41.783,01	52.722,03	308.966,10		0,98	-	-
	2	198	216.173,68	37.828,81	-47.896,45	39.848,80	286.206,58		1,00	0,96	-
	3	198	228.905,05	38.357,37	-46.622,86	52.504,80	321.157,01		0,99	1,00	0,98
ROI	0	198	1,38	0,21	-0,27	0,27	1,60	0,76	-	-	-
	1	198	1,51	0,21	-0,23	0,46	1,70		0,86	-	-
	2	198	1,33	0,20	-0,33	0,27	1,48		1,00	0,82	-
	3	198	1,38	0,20	-0,26	0,38	1,59		0,98	0,98	0,97

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Pelo valor-p do teste de *Kruskal-Wallis*, pode-se afirmar que todas as categorias de APEE apresentaram medianas de IE significativamente diferentes, pois o valor-p foi igual a 0,00 (valor-p>0,05). Esse resultado pode significar que as práticas de eficiência energética influenciam diretamente a IE.

5.2.4. Heatmaps das Variáveis de Resposta da Firma BT

Para elaborar os mapas de calor obtidos a partir dos resultados da Firma BT, calculou-se a média das variáveis de resposta em relação aos Cenários e às categorias de AEE. Lateralmente, apresenta-se as médias por cenário e, no topo, as médias por categoria de AEE. Na análise gráfica, deve-se atentar à escala de cores, sendo que quanto maior é o valor médio, mais amarela é a célula, e quanto menor é o valor médio, mais azul é a célula.

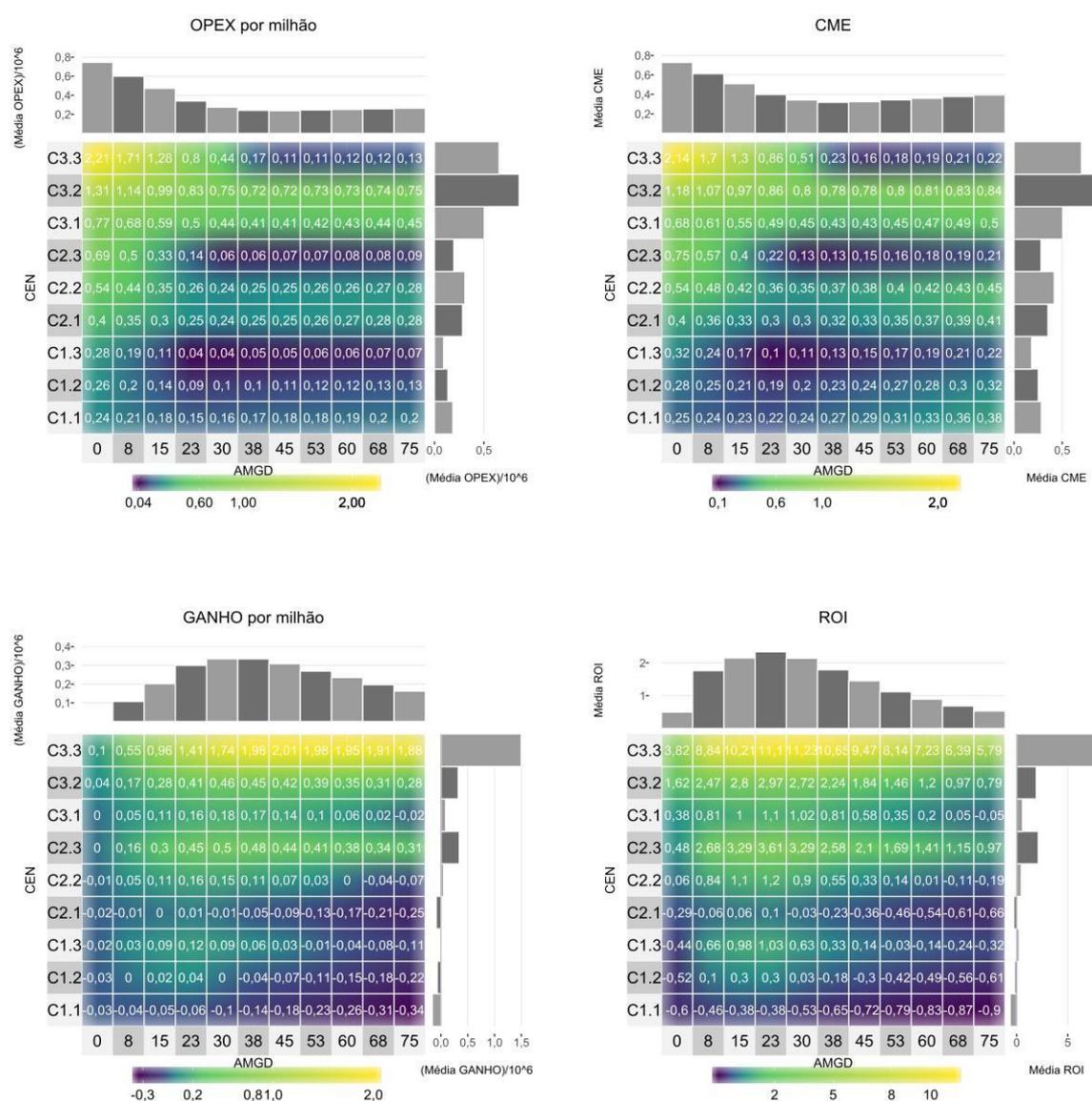
No Gráfico 9, é possível observar que a OPEX reduz na medida em que a AMGD aumenta até a faixa de 38 kWp. Para valores superiores a essa potência, a OPEX apresenta comportamento estável, com leve e gradual aumento até o limite de potência permitido. O CME mostra comportamento semelhante em relação à OPEX. Entretanto, o impacto no CME é maior nos extremos e apresenta o valor mais baixo com 38 kWp. Ao observar a variação do GANHO em conjunto com o ROI, nota-se uma equivalência de comportamento. Entretanto, é possível notar um descompasso do ROI, que atinge seu maior valor com 23kWp de potência instalada, enquanto as demais variáveis de resposta sugerem 38kWp como a capacidade instalada que apresenta melhores resultados no contexto da Firma BT.

Outros aspectos a serem destacados fazem referência à observação do GANHO e do ROI em relação aos cenários. Nota-se que essas duas variáveis apresentam valores elevados somente no cenário C3.3, no qual os custos de compra de energia são elevados e as políticas de incentivo fiscal estão no maior patamar.

Uma possível explicação para esse comportamento pode estar relacionada ao sobreinvestimento estimado para capacidade acima de 38kWp. Como os valores representam as médias dos cenários, podem estar anulando a estimativa de GANHO médio, caracterizando uma limitação do modelo. Entretanto, essa limitação não influencia na identificação das faixas de potência instalada mais vantajosas. Os resultados mais elevados para o GANHO são observados entre 30 e 38 kWp. Nesse caso, os menores valores para GANHO são observados nas extremidades. Os

resultados do ROI apresentam valores mais elevados para 23 kWp e passam a reduzir com o aumento da potência instalada. Em relação aos cenários, os resultados demonstram que no contexto de energia cara os impactos são mais relevantes. Por outro lado, instalar uma capacidade inadequada em situações em que o custo de energia é moderado ou baixo, também pode resultar em resultados não atrativos.

Gráfico 9 – *Heatmap* das Variáveis de Resposta da Firma BT: Cenários e AMGD

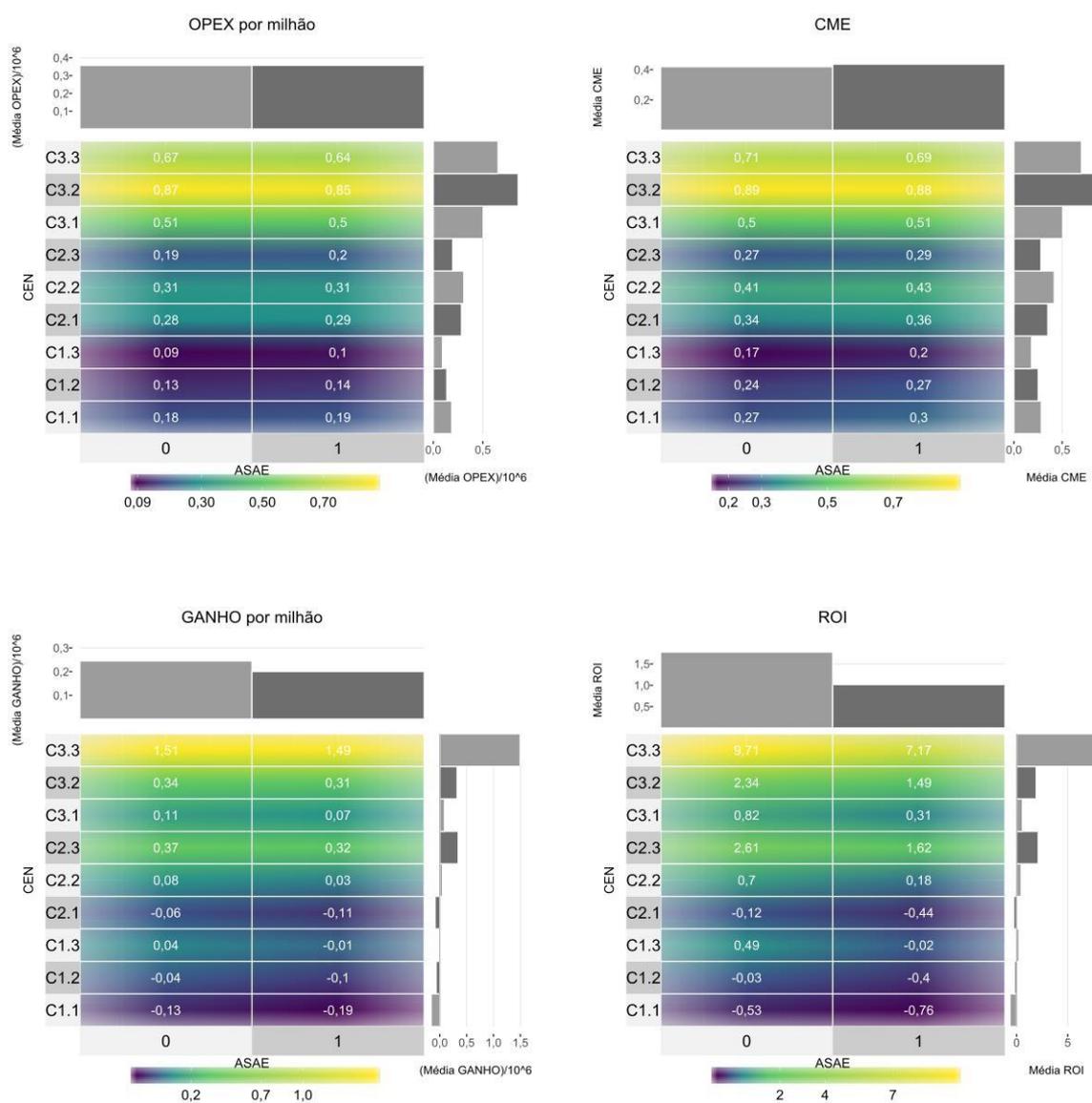


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

No Gráfico 10, é possível visualizar que a utilização de Sistemas de Armazenamento de Energia (SAE), no contexto da Firma BT, não é atrativa. Com exceção da média de OPEX, as demais variáveis de resposta apresentam resultados

que indicam baixa atratividade dos SAE. O CME apresenta pequena elevação quando utilizado um SAE. Entretanto, o GANHO e o ROI são as variáveis mais impactadas, apresentando redução em seus valores médios caso a Firma BT opte por utilizar um SAE.

Gráfico 10 – *Heatmap* das Variáveis de Resposta da Firma BT: Cenários e ASAE

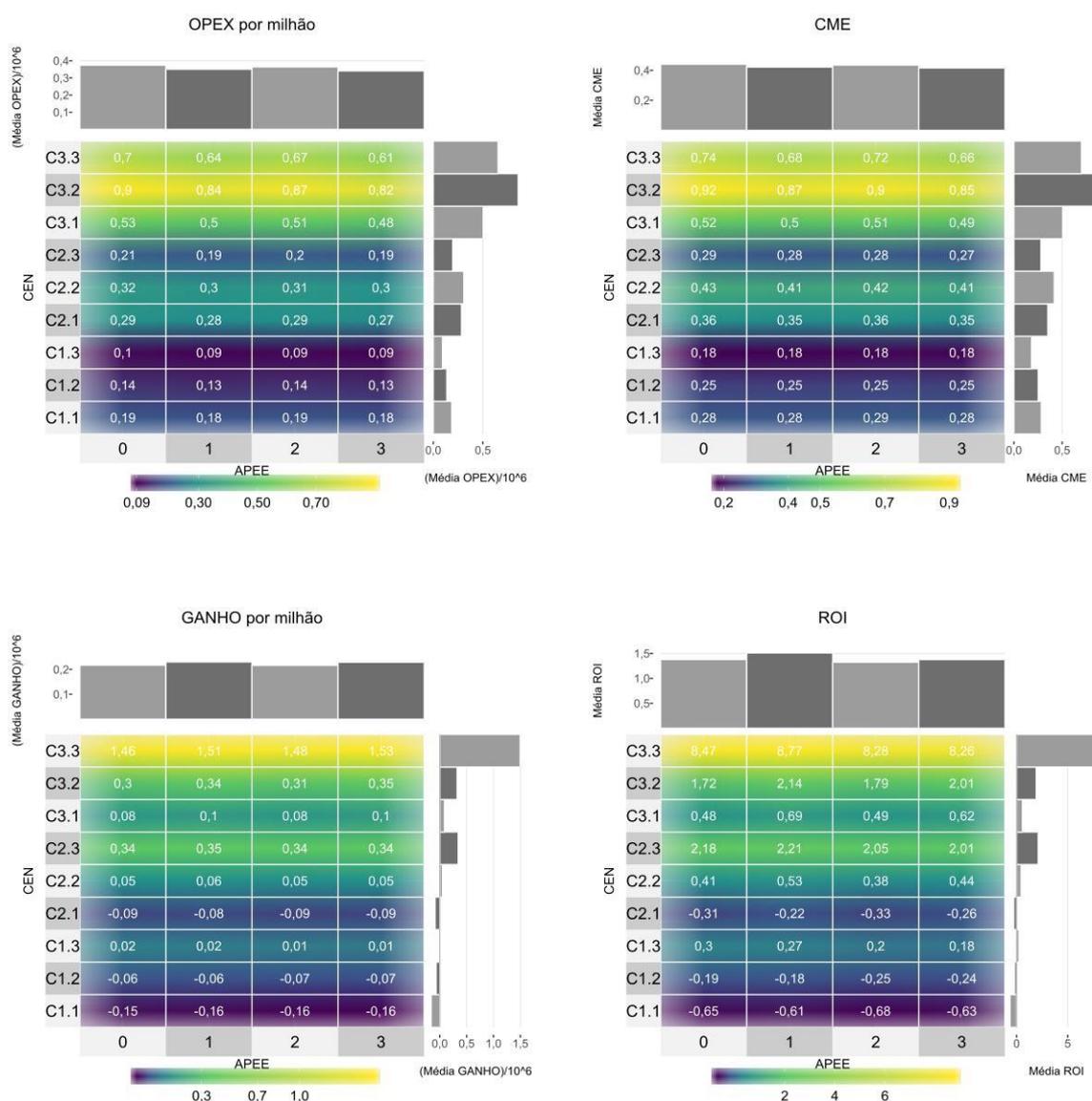


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Uma possível explicação reside, basicamente, em dois aspectos. O primeiro se relaciona ao tipo de contrato de fornecimento da Firma BT, visto que o maior impacto do SAE está ligado à possibilidade de, eventualmente, haver redução da demanda ultrapassada prevista nos contratos de fornecimento em AT, característica não

existente na Firma BT. O segundo fator está relacionado ao Sistema de Compensação (SCE) adotado no Brasil, que faz com que a distribuidora de energia atue como SAE, visto que toda energia excedente é injetada na rede da concessionária e os créditos podem ser utilizados no futuro pela UC.

Gráfico 11 – *Heatmap* das Variáveis de Resposta da Firma BT: Cenários e APEE



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

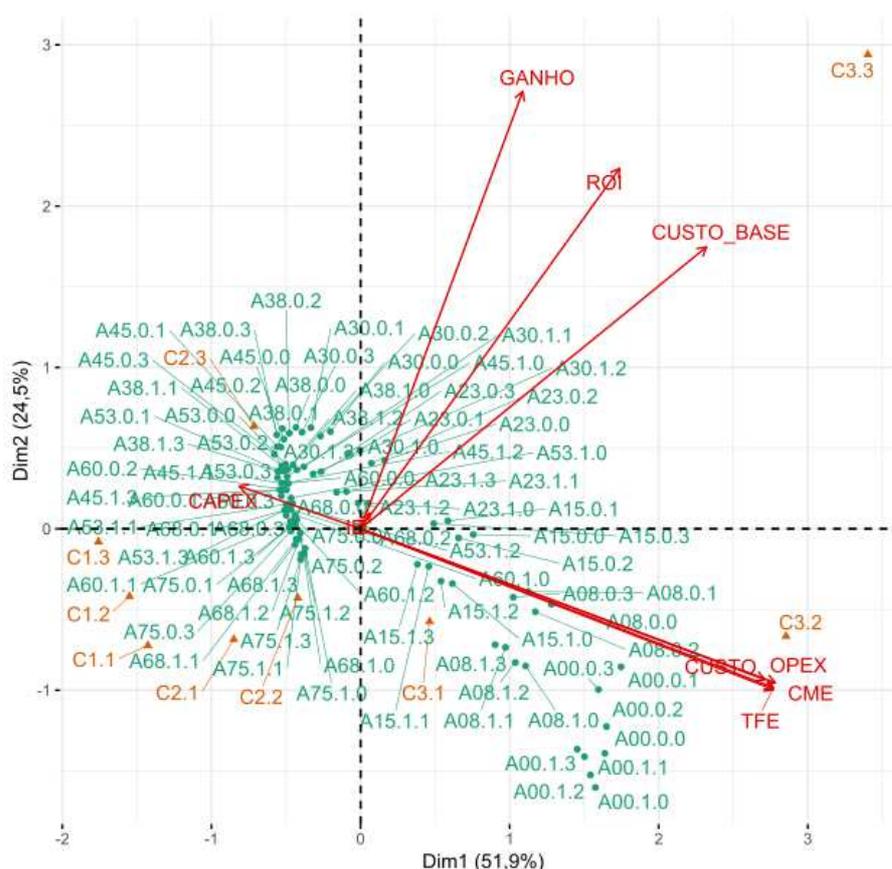
Por fim, o impacto do uso das Práticas de Eficiência Energética (PEE) é representado no Gráfico 11. Nota-se que as práticas que contemplam a implantação do Sistema de Gestão de Energia, representadas por APEE 1 e 3, apresentam melhores resultados considerando a não adoção de PEE ou apenas a utilização de

conversor regenerativo (CRG). Trata-se de um resultado coerente com as características do processo produtivo da Firma BT, visto que a empresa apresenta baixo potencial para a regeneração de energia.

5.2.5. Análise de Componentes Principais para a Firma BT

Com o intuito de visualizar as correlações existentes entre as variáveis de interesse, foram construídos mapas perceptuais via Análise de Componentes Principais. Eles também permitem verificar como as observações se associam às variáveis.

Gráfico 12 – Análise de Componentes Principais da Firma BT



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

No Gráfico 12, apresenta-se o mapa perceptual obtido via análise de componentes principais junto com os Cenários e as Ações de Eficiência Energética. Pode-se constatar que o primeiro componente principal foi capaz de explicar 51,9% da variabilidade total das variáveis, enquanto o segundo componente explicou 24,5%. Logo, a quantidade total da variabilidade explicada pelos dois primeiros componentes

foi igual a 76,4%, sendo esse valor considerado satisfatório (> 50,00%). É nítido que as variáveis GANHO, ROI e CUSTO BASE tiveram alta correlação positiva entre si, visto que as setas apontam no mesmo sentido. OPEX, CUSTO, TFE e CME também apresentam alta correlação positiva entre si.

Verificando o posicionamento dos cenários nos quadrantes, é possível perceber como ocorre a associação entre eles e as variáveis. GANHO, ROI e CUSTO BASE crescem no sentido superior direito, onde se encontra o cenário C3.3, logo, este se associa a altos valores dessas variáveis. CUSTO, OPEX, CME e TFE crescem no sentido inferior direito, onde se encontra o cenário C3.2, logo, este se associa a altos valores dessas variáveis.

Os cenários C1.1, C1.2, C1.3, C2.1 e C2.2 encontram-se no quadrante inferior esquerdo, associando-se a baixos valores das variáveis GANHO, ROI, CUSTO BASE, CUSTO, OPEX, CME e TFE, e a altos valores e medianas de CAPEX. Analisando o posicionamento das AEE, é possível chegar a conclusões semelhantes às citadas acima. A00.0.1, por exemplo, se encontra no quadrante inferior direito do gráfico, associando-se a altos valores de CUSTO, OPEX, CME e TFE. Identifica-se que a seta de IE é significativamente menor, tendo como base as outras variáveis, portanto, ela não se associa às demais variáveis de resposta.

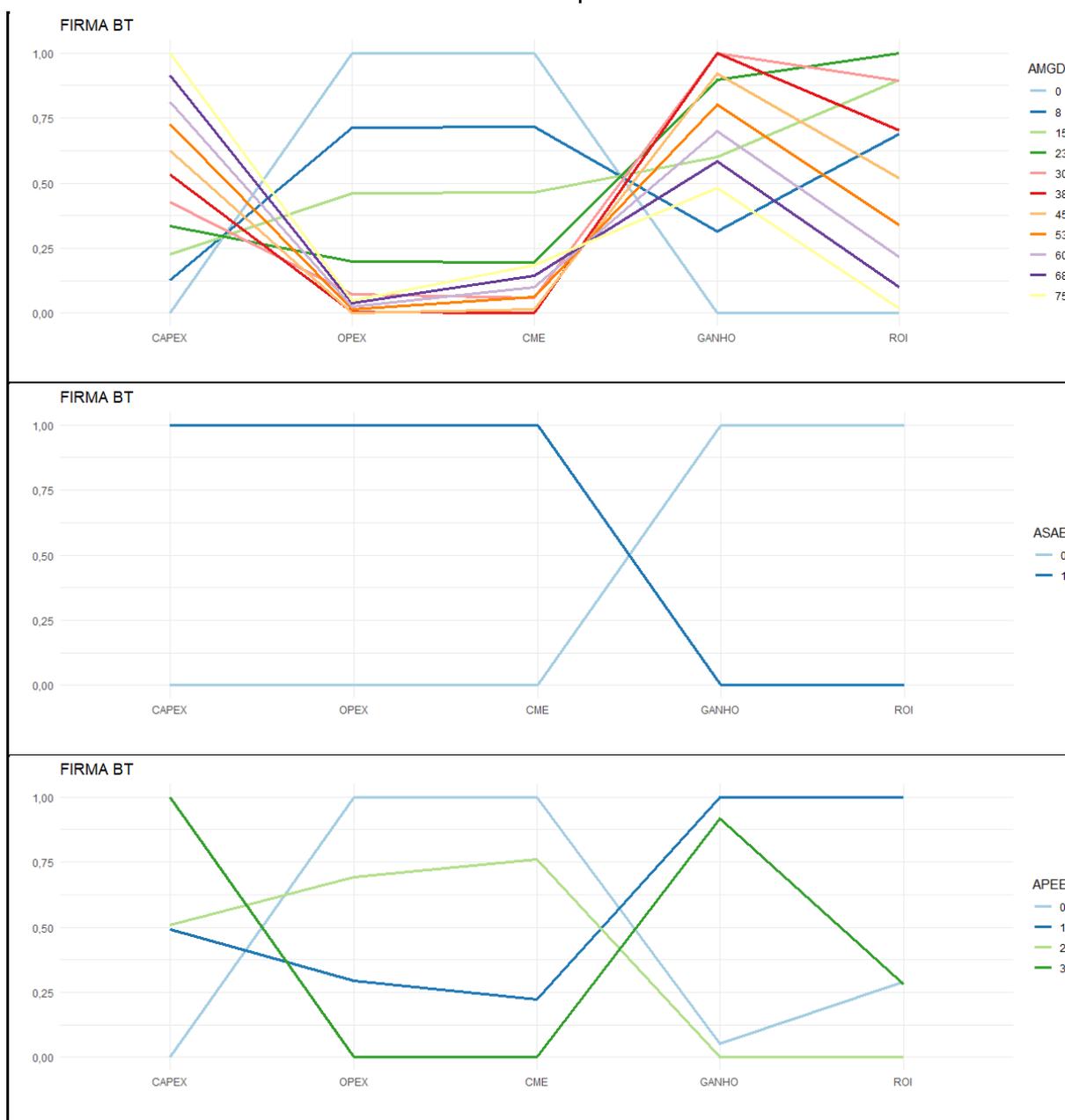
5.2.6. Gráficos de coordenadas paralelas da Firma BT

A seguir, apresentam-se os gráficos de coordenadas paralelas das médias das variáveis CAPEX, OPEX, CME, GANHO e ROI em relação às diferentes combinações de AMGD, ASAE e APEE no contexto da Firma BT. Como analisado na primeira firma, esses gráficos permitem analisar como as diversas variáveis se comportam em relação aos agrupamentos presentes nos dados de resposta.

Conforme pode ser observado no Gráfico 13, em relação à capacidade instalada de MGD, representada pela variável AMGD, entre 0 e 15 kWp a CAPEX apresenta menor valor e reflete diretamente em OPEX e CME mais elevados se comparada às demais possibilidades. No outro extremo, potências iguais ou maiores a 45 kWp naturalmente representam CAPEX mais elevada e OPEX reduzida. O CME nessas faixas de potência tem um leve aumento, o que ainda resulta em GANHOS maiores do que a outra extremidade, mas com ROI reduzido em função do volume de investimento necessário. As faixas intermediárias, entre 23 e 38 kWp, apresentam

OPEX baixa e mantém o CME no mesmo padrão, o que reflete em GANHO e ROI elevados se comparadas às demais potências.

Gráfico 13 – Coordenadas paralelas da Firma BT



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O ASAE não representa ser uma escolha adequada, pois resulta em CAPEX, OPEX e CME elevados, fazendo com que o GANHO e o ROI tenham valores menores. No caso da APEE, os níveis 1 e 3 representam menores OPEX e CME, o que reflete em GANHO elevado. Entretanto, somente o nível 1 (uso do SGE) apresenta atratividade elevada ao ser analisado pelo ROI.

5.2.7. Conclusões da Análise da Firma BT

Notadamente, a Firma BT apresenta resultados diferentes da Firma AT. Para a Firma BT, as variáveis CAPEX e IE apresentaram correlações mais fracas. Outro aspecto diz respeito ao aumento gradual da utilização de Ações de Eficiência Energética (AEE). Esse aumento não representa necessariamente benefício na maioria das situações, o que pode caracterizar sobreinvestimento em alguns casos.

O modelo de SCE utilizado no Brasil apresenta características que interferem na atratividade do uso de SAE em UCs alimentadas em BT. No modelo, a própria distribuidora realiza o papel de armazenar energia, fazendo com que o SAE tenha impacto somente na redução da demanda em horário de ponta, não representando ganhos significativos para empresas com características de fornecimento semelhantes.

Em relação à instalação de MGD, o menor valor médio estimado para o CUSTO foi no cenário C1.3, que representa baixo custo de compra de energia e existência de incentivos fiscais para MGD. Entretanto, ao realizar a análise a partir dos demais cenários, verifica-se que somente a partir de um custo intermediário de energia o GANHO passa a ser positivo. Esse fato representa um comportamento diferente da Firma AT, visto que os custos para a Firma BT atingem menores valores entre AMDG 30 e 38. Nesse aspecto, o modelo pode identificar que investimento em MGD com capacidades superiores pode resultar em sobreinvestimento e, conseqüentemente, em aumento de custos. Essa leitura é importante para a tomada de decisão, pois permite auxiliar na avaliação e no adequado dimensionamento da capacidade instalada de MGD, visto que considera o comportamento das diferentes variáveis utilizadas no modelo proposto.

Os valores estimados para a variável de resposta CUSTO permitem identificar as faixas de capacidade instalada que apresentam maior GANHO. Dessa maneira, mesmo que o limite de capacidade instalada estabelecido por lei seja de 75kW e que as variações dos demais fatores representados no modelo sejam consideradas, não é atrativo para a Firma BT atingir esse limite.

Se, por um lado, é possível perceber uma equivalência de comportamento em relação às variáveis GANHO e ROI, por outro lado nota-se que há um descompasso entre essas duas variáveis de resposta. O ROI atinge valor máximo com 23kWp de potência instalada, enquanto as demais variáveis de resposta sugerem 38kWp como

capacidade instalada com melhor resultado para a Firma BT. Esse comportamento pode estar relacionado a um sobreinvestimento estimado para capacidade acima de 38kWp. Por representarem valores médios, os resultados podem estar reduzindo a estimativa de GANHO médio, sendo essa uma limitação do modelo.

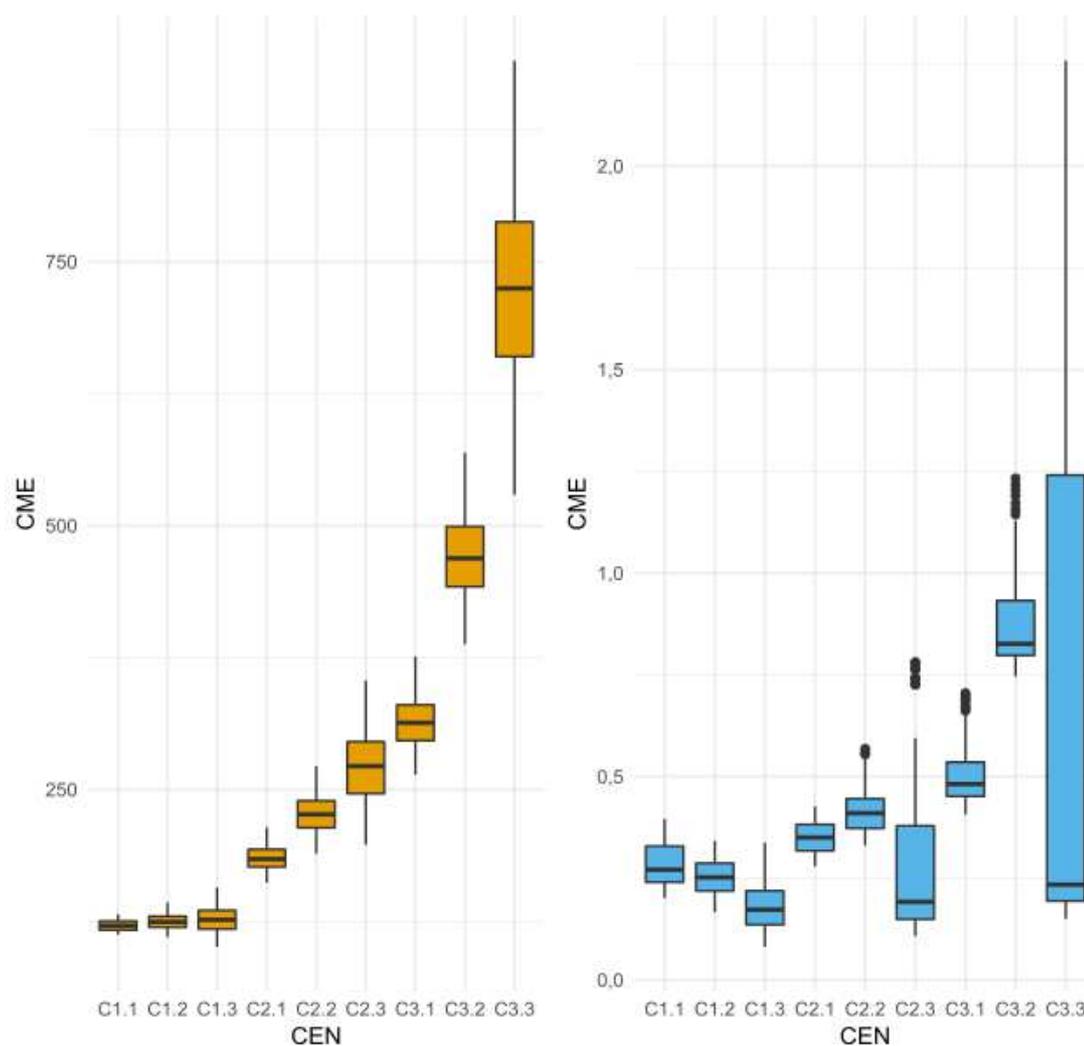
Por fim, verifica-se que a utilização de SGE para a Firma apresenta melhores resultados se comparada a não utilização de PEE ou ao uso exclusivo de conversores regenerativos (CRG). No contexto da Firma BT, esse resultado é coerente com as características do processo produtivo da empresa, pois esta não apresenta potencial para regeneração de energia.

5.3 ANÁLISE COMPARATIVA DAS VARIÁVEIS DE RESPOSTA DAS FIRMAS AT E BT

Nesta seção, são apresentados os gráficos *boxplots* das variáveis de resposta Custo Médio de Energia (CME), GANHO e Retorno sobre o Investimento (ROI) com relação às ações de Microgeração Distribuída (MGD), Sistema de Armazenamento de Energia (SAE) e Práticas de Eficiência Energética (PEE) em cada cenário simulado. A análise visa a identificar as diferenças de comportamento em cada Firma estudada. Para tanto, as variações de comportamento das variáveis de resposta tornam-se mais relevantes do que o valor absoluto em si, o qual naturalmente apresentaria diferenças devido aos distintos portes e padrões de consumo de cada Firma.

Ao se observar o comportamento do CME em relação aos cenários, conforme Gráfico 14, é possível perceber que a Firma AT, destacada em laranja, apresenta elevação exponencial na medida em que o custo de energia da distribuidora e os incentivos aumentam, mantendo uma distribuição simétrica. No contexto da Firma BT, representado na cor azul, o CME não repete o padrão da Firma AT. É possível perceber que nos cenários de incentivos elevados, C1.3, C2.3 e C3.3, a distribuição dos dados é simétrica, com a mediana posicionada próxima aos valores mais baixos. Nota-se que nesses cenários o padrão de comportamento apresenta diferenças, o que pode significar que os incentivos fiscais têm maior impacto em empresas com características de fornecimento semelhantes às da Firma BT.

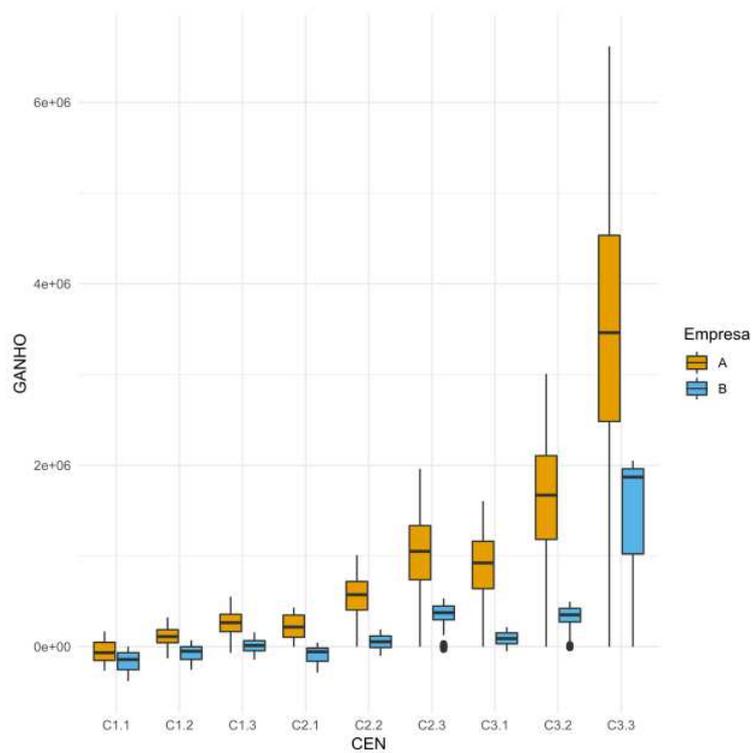
Gráfico 14 – *Boxplots* do CME em relação aos Cenários e às Firmas



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

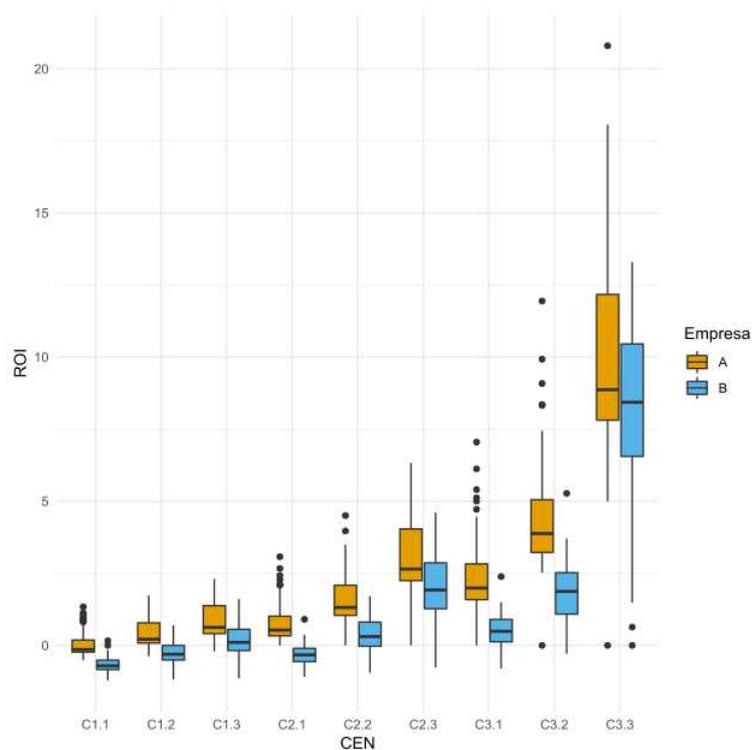
A visualização do Gráfico 15 permite constatar que nos cenários em que o custo de compra de energia é menor, o ganho relativo é pequeno e, em alguns casos, negativo (prejuízo). Da mesma forma que o GANHO, os cenários de energia barata apresentam ROI menor (Gráfico 16). Para a Firma BT, a baixa atratividade nesses cenários fica mais evidente, porque o ROI apresentado é negativo.

Gráfico 15 – *Boxplots* do GANHO em relação aos Cenários e às Firms



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

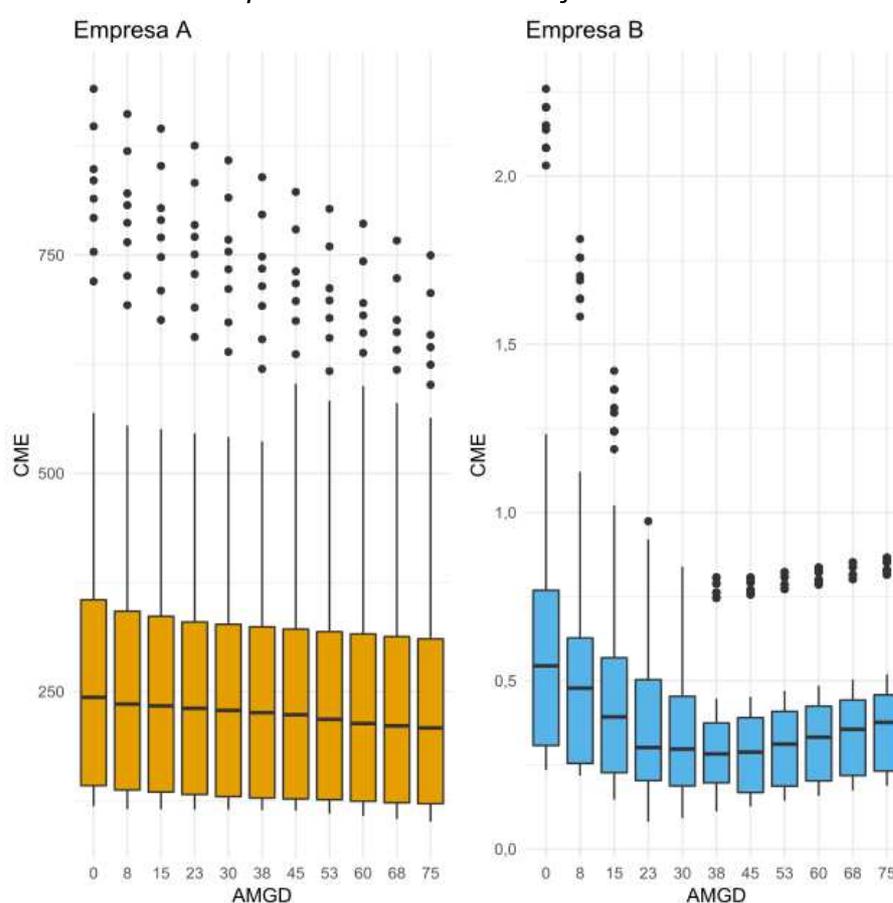
Gráfico 16 – *Boxplots* do ROI em relação aos Cenários e às Firms



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

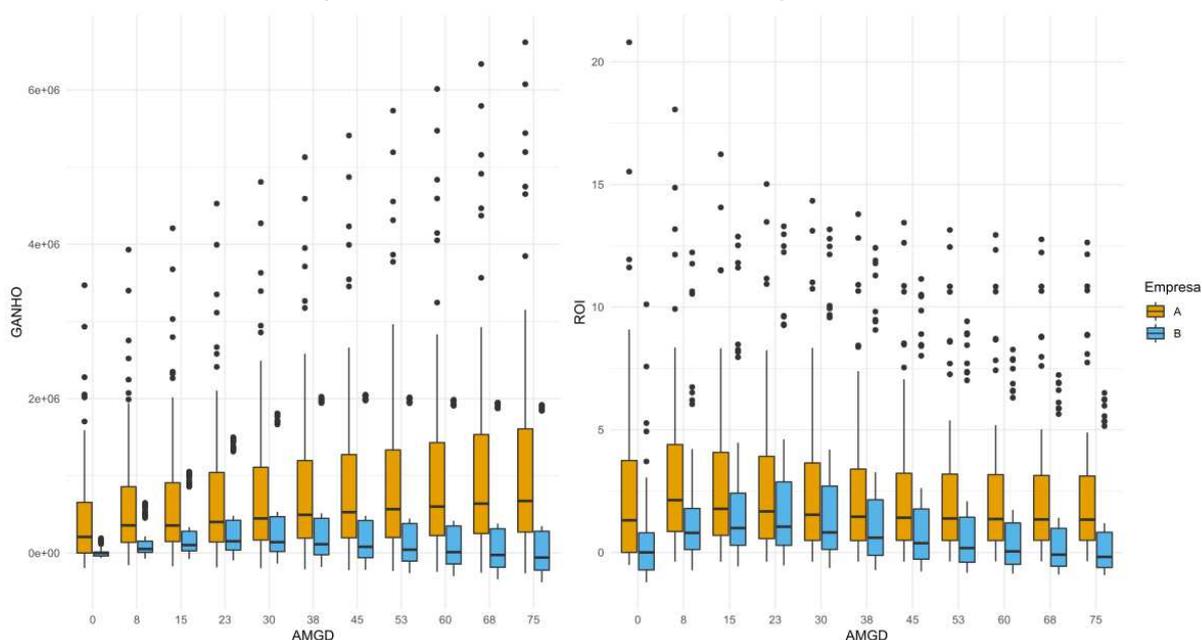
Os resultados da variação do CME em relação à AMGD, conforme Gráfico 17, permitem a constatação dos limiares de capacidade instalada de acordo com cada Firma. Nota-se que para a Firma AT o CME reduz na medida em que a potência instalada aumenta, em todas as faixas de potência. Entretanto, a Firma BT apresenta uma zona de inflexão, situada entre 30 kWp e 45 kWp, em que o CME passa a aumentar na medida em que a potência instalada é ampliada. É possível visualizar a reprodução desse comportamento no GANHO, conforme Gráfico 18. Entretanto, o ROI não segue o mesmo padrão do GANHO para a Firma AT.

Gráfico 17 – *Boxplots* do CME em relação à AMGD e às Firms



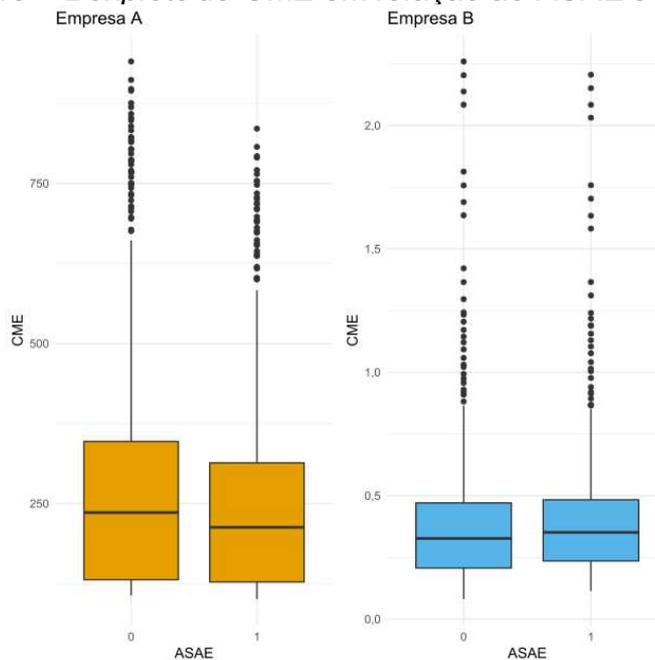
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Essa disparidade de comportamento pode ser explicada pela diferença de consumo entre as duas firms. Para o consumo médio da Firma AT, a capacidade de 75kWp não é suficiente para atender toda a demanda. No caso da Firma BT, uma capacidade instalada de 38kWp atenderia a demanda de energia da empresa a um custo menor.

Gráfico 18 – *Boxplots* do GANHO e ROI em relação à AMGD e às Firms

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

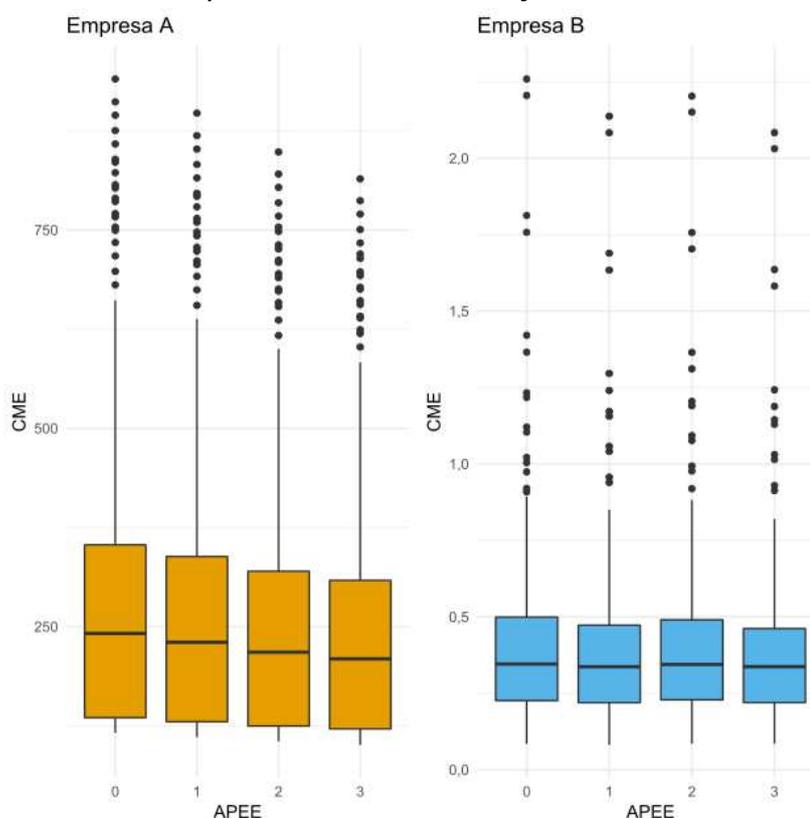
O uso do SAE não representou impacto relevante no CME em ambas as Firms. De acordo com o Gráfico 19, a Firma AT apresentou suave redução da dispersão do CME associada a uma pequena redução da mediana do CME. Para a Firma BT, a diferença é ainda menor.

Gráfico 19 – *Boxplots* do CME em relação ao ASAE e às Firms

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A adoção de APEE apresentou impactos diferentes. O Gráfico 20 mostra que o CME tende a reduzir quanto maior for a adoção de APEE na Firma AT. Entretanto, os resultados do CME para a Firma BT não demonstram diferenças significativas. O Gráfico 20 complementa essa análise, pois mostra que tanto o GANHO quanto o ROI aumentam com a utilização de PEE na Firma AT, e permanecem praticamente inalterados na Firma BT.

Gráfico 20 – *Boxplots* do CME em relação à APEE e às Firms



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Este capítulo apresentou análises das variáveis de resposta para as simulações das Firms AT e BT. Além dos aspectos específicos de cada Firma, foram realizadas análises comparativas visando a identificar possíveis semelhanças e diferenças entre as duas empresas estudadas. Os principais pontos elencados neste capítulo são aprofundados e discutidos no Capítulo 6.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo aborda a discussão dos resultados do estudo considerando sua tripla originalidade potencial (CAUCHICK et al., 2017), destacando aspectos relacionados a tema, método, resultados e implicações. Observa-se que o assunto em estudo, Eficiência Energética, em particular o processo de decisão sobre Eficiência Energética em unidades consumidoras industriais de uso não intensivo de energia, é objeto de estudo de outras pesquisas, conforme apresentado na seção 2.2.1. Entretanto, apesar das evidências de estudos nessa área, há um conjunto de lacunas identificadas na literatura e apresentadas na seção 2.5 que endossam a realização deste estudo.

A partir da RSL, evidenciou-se a ampla utilização de abordagens tradicionais para avaliar decisões de investimento em EE, tais como VPL, ROI e PB. Entretanto, no contexto estudado, esses artefatos possuem limitações importantes que influenciam o processo de tomada de decisão. Os artefatos apresentados no Quadro 9 não contemplam as possíveis relações entre variáveis externas e internas e utilizam enfoque linear e estático, com abrangência local. O uso de modelagem é ainda mais restrito e, quando utilizado, não são contempladas características sistêmicas e dinâmicas do problema.

Apesar dessas limitações, as pesquisas encontradas são importantes, pois fornecem um amplo e consistente arcabouço teórico, identificam e caracterizam barreiras e *drivers* relacionados à adoção de práticas de eficiência energética e, em alguns casos, esboçam modelos conceituais para compreensão do problema. (MAY et al., 2018; TRIANNI; CAGNO; NERI, 2017). Assim, este estudo considera o atual estado da arte em relação ao tema e visa a avançar a partir das lacunas identificadas e apresentadas no Quadro 10.

O primeiro avanço alcançado foi a representação de barreiras, *drivers*, variáveis internas e variáveis externas em uma estrutura sistêmica, por meio da elaboração do DEC apresentado na Figura 14. Essa representação consiste em um avanço para o tema, pois os estudos prévios apenas destacavam a existência desses elementos, mas não discutiam a inter-relação e a interdependência dos fatores relacionados à adoção de práticas de Eficiência Energética, ignorando a complexidade inerente a esse tipo de decisão.

Enxergar essa complexidade evidenciou as limitações do uso de abordagens exclusivamente financeiras, e nesse aspecto reside o segundo avanço alcançado neste estudo. As diversas combinações que se estabelecem entre as variáveis existentes, representadas nos cenários, não eram contempladas nos estudos e nas análises realizadas previamente e contextualizadas no âmbito desta pesquisa. Assim, ao modelar tal complexidade, foi possível representar comportamentos até então pouco considerados na literatura, tais como o espiral da morte das distribuidoras, o impacto do SCE utilizado no Brasil, bem como o resultado da adoção de AEE em empresas com diferentes padrões de consumo. Essa representação, ainda que em estágio inicial, emerge como importante ferramenta para avaliar decisões referentes à regulação do Setor Elétrico Brasileiro, mais especificamente ao ambiente de MGD. O Quadro 40 sintetiza as lacunas preenchidas pelo modelo proposto nesta tese.

Quadro 40 – Lacunas preenchidas pelo modelo

Área	Lacunas (no contexto de aplicação)	MDAEE
Financeiras	Não inclui benefícios não financeiros;	Não avançou em relação aos benefícios não financeiros. Propõe variáveis complementares às abordagens tradicionais, como a utilização do CME.
Não financeiras	Processo Linear e estático.	O modelo proposto apresenta características sistêmicas e dinâmicas, contemplando incertezas dos ambientes macroeconômicos e macroenergéticos
Modelagem	Não considera a possível inter-relação de variáveis externas e internas;	Relações sistêmicas representadas no DEC e no DEF, e cenários elaborados a partir das variáveis externas e internas.
	Processo Linear e estático (Otimização).	A utilização da Modelagem de Dinâmica de Sistemas contemplou características dinâmicas e sistêmicas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O terceiro avanço em relação ao tema desta pesquisa está relacionado ao uso de UEPs (JUNIOR; VALLE, 1988) para representar o potencial impacto das decisões referentes à Eficiência Energética e Microgeração Distribuída em empresas de uso

não intensivo de energia. Este estudo sustenta que, ao visualizar o CME proposto, os decisores terão uma visão mais próxima da influência da AEE no ambiente industrial, o que até então não era encontrado na literatura. O modelo teórico apresentado na Figura 11 representa a síntese dos avanços relacionados ao tema.

Em relação aos métodos utilizados, destaca-se alguns aspectos. Inicialmente, a apresentação do Estado da Arte do tema com uso da ARS, em especial a densidade de coautoria e as redes de termos formadas ao longo do tempo, mostradas na Figura 5, representa um avanço em relação aos trabalhos dessa natureza. A densidade de coautoria permitiu identificar os principais *clusters* de pesquisa sobre o assunto, algo que não foi encontrado na literatura. Da mesma forma, as redes de termos apresentam uma visão inédita, pois ilustram a importância e a evolução de cada objeto de pesquisa no horizonte estudado, permitindo relacionar os termos mais recentes e localizar este estudo na fronteira de conhecimento.

Outro avanço em relação ao método foi a utilização de abordagens distintas de modelagem. A abordagem *outside-in*, adotada inicialmente, permitiu a representação ampla do problema, resultando no DEC (Figura 14). Por outro lado, a abordagem *inside-out* partiu de situações específicas para detalhar o modelo representado no DEF (Figura 34). Neste estudo, essas abordagens foram utilizadas de forma complementar, conforme sugerido na literatura (PIDD, 2003), mas não encontrado nos estudos analisados na RSL.

Sob o ponto de vista dos resultados e das implicações, o MDAEE apresenta contribuições relevantes para o processo de tomada de decisão, relacionadas às ações de eficiência energética e microgeração distribuída. O propósito do modelo é auxiliá-la na avaliação do potencial impacto financeiro de ações de eficiência energética e microgeração distribuída em unidades consumidoras industriais de uso não intensivo de energia. Conforme demonstrado ao longo desta tese, decisões nesse contexto situam-se em cenários complexos.

Nesse sentido, o MDAEE representa essa complexidade e considera a inter-relação das variáveis sem exigir dos decisores (ou da empresa) o conhecimento dessa complexidade. Assim, utilizando como entrada do modelo informações que fazem parte do cotidiano, tais como volume de produção e consumo de energia elétrica, o decisor tem à disposição um conjunto de respostas que contempla diferentes cenários e ambientes, conforme amplamente discutido no capítulo anterior.

Outro aspecto relevante do MDAEE é permitir ao decisor a possibilidade de avaliar o custo da inércia ou o custo do exagero. Esse valor é representado pelo GANHO. No primeiro caso, o custo da inércia reflete o quanto a empresa estaria perdendo se não utilizasse medidas de EE. O custo do exagero evidencia o quanto a empresa perde ao superdimensionar as ações de EE, em especial a instalação de MGD. Essa avaliação é essencial em condições de recursos escassos.

Por fim, as contribuições evidenciadas no modelo proposto são passíveis de generalização para outras empresas do segmento industrial de uso não intensivo de energia, desde que os parâmetros de consumo de energia, produção e potencial de EE sejam ajustados de acordo com as características da empresa.

Em relação às contribuições acadêmicas, este trabalho avançou em dois aspectos. O primeiro diz respeito à utilização conjunta das abordagens de modelagem *outside-in* e *inside-out*. Até a realização deste estudo, não foram encontrados, na RSL, pesquisas contemplando o uso combinado dessas técnicas para a modelagem e o desenvolvimento de modelos de dinâmica de sistemas. Assim, este estudo passa a ser um marco na utilização das modelagens *outside-in* e *inside-out* em contextos nos quais tanto as características macro quanto as micro têm relevância na representação do comportamento do sistema. O segundo avanço acadêmico foi a proposição do Custo Energético, que considera o esforço de produção (UEP) projetado ao longo do tempo.

Em relação aos resultados com impacto prático, o modelo permite avaliar medidas complementares às métricas financeiras atuais, bem como avaliar a decisão em ambiente de incertezas, identificando alternativas mais robustas. Conforme destacado no Capítulo 5, com o uso do modelo foi possível identificar casos em que haveria sobreinvestimento. Esse aspecto é relevante para os decisores, pois permite visualizar em que condições as alternativas de AEE são efetivamente vantajosas. Nesse sentido, foi possível identificar as variáveis que mais influenciam os custos de energia elétrica, bem como as alternativas mais atrativas no contexto específico das firmas estudadas. Um exemplo foi a utilização do SAE, que apresentou baixa atratividade para a Firma AT e nenhuma atratividade para a Firma BT.

Ao considerar, no cenário macroenergético, fatores relacionados ao Sistema de Compensação de Energia, este modelo pode anteciper os possíveis impactos das alterações propostas para revisão da Resolução 482/2012 da ANEEL. Assim, este artefato apresenta amplo potencial para contribuir na avaliação de políticas de

incentivo do setor energético, especificamente em relação aos incentivos para microgeração distribuída e eficiência energética em ambientes industriais.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta seção, são retomados os objetivos do estudo e apresentadas as conclusões obtidas considerando cada objetivo almejado neste trabalho. Por fim, são sugeridas propostas para continuidade e novas possibilidades para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

O contexto inicial revelado nesta tese traz à tona o potencial inexplorado de eficiência energética no segmento industrial ao considerar o conjunto total de empresas de uso não intensivo de energia. Nesse contexto, as abordagens tradicionais de avaliação de investimentos apresentam limitações que, em conjunto com outras variáveis, barreiras e *drivers*, não contribuem para a adoção de ações de eficiência energética. Tal fenômeno é chamado de lacuna de eficiência energética. Assim, este estudo objetivou propor um modelo de avaliação do potencial impacto financeiro de ações de eficiência energética e microgeração distribuída em unidades consumidoras industriais de uso não intensivo de energia em ambientes de incerteza.

Para tanto, inicialmente foi necessário identificar um conjunto de variáveis internas e externas, bem como barreiras e *drivers* que representam o contexto de adoção de ações de eficiência energética e microgeração distribuída em unidades consumidoras industriais de uso não intensivo de energia. Essas variáveis foram levantadas na literatura por meio da RSL. Com o apoio de especialistas integrantes dos grupos focais, essas variáveis foram organizadas em uma estrutura sistêmica, denominada, neste estudo, como diagrama de enlace causal.

A partir do levantamento das variáveis e da elaboração do diagrama de enlace causal, foi desenvolvido um modelo conceitual para avaliar o impacto das decisões relacionadas à eficiência energética no contexto estabelecido. No modelo conceitual, considerou-se a premissa de que os ajustes no valor final da TE são consequência da variação de fatores exógenos como PIB, IPCA, CDE, IRT, Bandeira Tarifária e, por fim, da incidência de impostos. A influência das políticas de incentivo à MGD e as alterações no ambiente regulatório na atratividade da MGD foi outra premissa considerada. Como essa dinâmica interfere na TE, as variações dos elementos dessas duas premissas foram representadas no modelo por diferentes cenários.

Para o desenvolvimento do modelo de dinâmica de sistemas, foram utilizadas duas estratégias de modelagem. A primeira partiu da visão mais ampla de que o DEC fornece resultado em um modelo macro, chamada de *outside-in*. Em seguida,

utilizando a abordagem *inside-out*, o comportamento de cada módulo do modelo foi detalhado, testado e validado. O uso conjunto dessas duas abordagens para modelagem de dinâmica de sistemas não foi encontrado nos artigos pesquisados na RSL. Como resultado, o uso combinado dessas duas perspectivas permitiu o desenvolvimento de um modelo contendo fatores macro, tais como o comportamento dos ambientes econômicos e energéticos, e características específicas de microambientes, como a dinâmica interna da firma, o funcionamento dos painéis solares ao longo do tempo e o ganho de eficiência devido à adoção de ações de eficiência energética.

Ao analisar o modelo no contexto da aplicação prática, estimando o resultado em duas empresas com diferentes características de processo produtivo e condições distintas de compra de energia elétrica, foi possível avaliar resultados e projetar diferentes condições ao longo do tempo. A visualização da combinação das incertezas e de como cada ação impacta esses cenários oferece aos tomadores de decisão uma visão acurada no momento da escolha da AEE a ser utilizada. Embora a estrutura do MDAEE seja complexa, as informações necessárias para executar o modelo são simples e de fácil acesso, o que o torna atrativo para MPEs.

Dado o conjunto de fatores considerados nos cenários e a complexidade desse tipo de decisão, o modelo proposto permite ao decisor estimar o impacto financeiro em diferentes cenários, além dos que foram analisados neste estudo, ampliando a compreensão do processo de decisão relativo à adoção de tecnologias para incremento de eficiência energética em PME, especialmente no contexto brasileiro. Com a MDS foi possível avançar além das limitações de abordagens tradicionais, como VPL, TIR e *payback*. Para os gestores de PME, a utilização desse modelo permite aprofundar a compreensão dos efeitos de alterações do ambiente externo, e mensurar o impacto dessas incertezas na parcela de custo de energia dos produtos fabricados na firma. Convém ressaltar que os custos totais projetados variam nos diferentes cenários, pois os incentivos e subsídios influenciam os custos de aquisição e compra de energia. Mesmo que o valor do CME seja menor do que o do cenário-base, isso não significa, necessariamente, que o custo total será menor dentro do mesmo cenário. Ao realizar a análise em diferentes cenários, é possível estimar o potencial impacto financeiro.

O modelo para estimar o potencial impacto financeiro de longo prazo da microgeração solar e eficiência energética limita-se a fatores relacionados aos

ambientes macroeconômico e macroenergético. Assim, variáveis relacionadas a fatores microeconômicos, com exceção das características de consumo de energia da empresa, não estão contempladas no modelo.

Embora o impacto da MGD em redes elétricas de baixa tensão possa influenciar a variabilidade de variáveis como consumo e disponibilidade de energia, esses fatores não estão no escopo deste trabalho. Reconhecendo as limitações e os pressupostos assumidos neste estudo, os parâmetros do modelo podem ser ajustados para outras empresas, de diferentes localizações, atendidas por outras distribuidoras de energia, sendo possível a utilização em outras situações de interesse.

A realização desta pesquisa permitiu vislumbrar uma ampla gama de possibilidades de trabalhos futuros. Sugere-se, por exemplo, a expansão do modelo, no sentido de incluir módulos que representem a influência do uso de ferramentas de Gestão da Produção, como GPT/IROG, Mapeamento do Fluxo de Valor e Manufatura Aditiva na eficiência energética das empresas. Ampliando a cadeia produtiva, seria possível modelar o uso de veículos elétricos na frota de uma determinada empresa, considerando as baterias desses veículos como possibilidade de armazenamento de energia. Outra linha possível de investigação seria considerar a Geração Compartilhada e a Geração Remota como possibilidades de geração de energia com empresas organizadas em rede.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, Katia; POSSAMAI, Osmar. Proposta de uma sistemática de alocação de recursos em ativos intangíveis para a maximização da percepção da qualidade em serviços. **Gestão & Produção**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 507–522, 2009.
- ABESCO, Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia. **Brasil deve terminar 2017 com o pior nível de armazenamento de energia da história**. 2017. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/novidade/brasil-deve-terminar-2017-com-o-pior-nivel-de-armazenamento-de-energia-da-historia/>>.
- ACEVEDO, Claudia Rosa; NOHARA, Jouliana Jordan. **Como Fazer Monografias: TCC, Dissertações E Teses**. [s.l.] : Editora Atlas SA, 2013.
- ADANE, Tigist Fetene; NICOLESCU, Mihai. System dynamics analysis of energy usage: case studies in automotive manufacturing. **International Journal of Manufacturing Research**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 131, 2015. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84902212487&doi=10.1504%2FIJMR.2014.062440&partnerID=40&md5=5cba1360bf60886b6db82dfa1aed9f4f>>.
- AGHAEI, Jamshid; ALIZADEH, Mohammad Iman. Demand response in smart electricity grids equipped with renewable energy sources: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 18, p. 64–72, 2013.
- ALCORTA, Ludovico et al. Return on investment from industrial energy efficiency: Evidence from developing countries. **Energy Efficiency**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 43–53, 2014.
- ALTOÉ, Leandra et al. Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. **Estudos Avançados**, [s. l.], v. 31, n. 89, p. 285–297, 2017.
- ANDRADE, Aurélio L. et al. Pensamento sistêmico: caderno de campo. **Porto Alegre**, [s. l.], 2006.
- ANDRADE, Maria Margarida De. **Introdução à metodologia do trabalho científico**. [s.l.] : São Paulo: Atlas, 2012.
- ANEEL. 049/2011 foram recebidas sugestões de diversos agentes do setor elétrico, bem como da sociedade em geral, que contribuiriam para o aperfeiçoamento deste ato regulamentar, resolve: Art. 1. [s. l.], 2012a.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa 482, de 17 de abril de 2012** Brasília/DFANEEL, , 2012b.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**. 2016a. Brasília-DF. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/eficiencia-energetica-gera-economia-de-4-6-gwh/656877?inheritRedirect=false>.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Micro e minigeração distribuídas. **Cadernos Temáticos ANEEL**, [s. l.], p. 34, 2016b. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introducao-1/656827?inheritRedirect=false>

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Nota Técnica nº 0062/2018 - Abertura de Consulta Pública para o recebimento de contribuições visando o aprimoramento das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída. [s. l.], p. 1–35, 2018.

ANTUNES, Pedro; CARREIRA, Paulo; MIRA DA SILVA, Miguel. Towards an energy management maturity model. **Energy Policy**, [s. l.], v. 73, p. 803–814, 2014. Disponível em: <http://ac-els-cdn.com.ez348.periodicos.capes.gov.br/S0301421514003838/1-s2.0-S0301421514003838-main.pdf?_tid=44173f7e-93f1-11e7-85bf-00000aacb360&acdnat=1504805191_70724edf8219b5a4118e742538b4b40d>. Acesso em: 7 set. 2017.

APLAK, H. Soner; SOGUT, M. Ziya. Game theory approach in decisional process of energy management for industrial sector. **Energy Conversion and Management**, [s. l.], v. 74, p. 70–80, 2013.

BAPTISTA, Makilim Nunes; CAMPOS, Dinael Corrêa De. Metodologias de pesquisa em ciências: análises quantitativa e qualitativa. In: **Metodologias de Pesquisa em Ciências: análises Quantitativa e Qualitativa**. [s.l.] : LTC, 2015.

BARROS, Benjamim Ferreira De; BORELLI, Reinaldo; GEDRA, Ricardo Luis. **Gerenciamento de energia: ações administrativas e técnicas de uso adequado da energia elétrica**. 2nd. ed. São Paulo-SP: Érica, 2016.

BEATY, H. Wayne; FINK, Donald G. **Standard handbook for electrical engineers**. [s.l.] : McGraw-Hill New York, 2007.

BHANOT, Neeraj; RAO, P. Venkateswara; DESHMUKH, S. G. An integrated approach for analysing the enablers and barriers of sustainable manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 142, n. 4, p. 4412–4439, 2017.

BINDER, Thomas et al. Developing System Dynamics Models From Causal Loop Diagrams. **Proceedings of the 22nd International Conference of the System Dynamics Society**, [s. l.], 2004. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/cf00/b9084b05ba357bf0c5fa7a5b9cc1b5695015.pdf>>

BOEHNER, Johannes. Multi Criteria Decision Making Enhancing Sustainable Energy Management. **Applied Mechanics and Materials**, [s. l.], v. 805, n. Energy Efficiency in Strategy of Sustainable Production, p. 32–37, 2015. Disponível em: <<http://www.scientific.net/AMM.805.32>>

BOOTH, Wayne C.; COLOMB, Gregory G.; WILLIAMS, Joseph M. **A arte da pesquisa**. 2. ed. [s.l.] : Martins Fontes, 2005.

BRASIL, Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei nº 7157 de 2014**. [s.l.: s.n.].

Disponível em:

<<http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=606554>>.

BUENO, A. F. M.; BRANDÃO, C. A. L. Visão Geral de Tecnologia e Mercado para os Sistemas de Armazenamento de Energia Elétrica no Brasil. **Associação Brasileira de Armazenamento e Qualidade de Energia**, [s. l.], 2016.

BUNSE, Katharina et al. Integrating energy efficiency performance in production management - Gap analysis between industrial needs and scientific literature. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 19, n. 6–7, p. 667–679, 2011. Disponível em: <http://ac-els-cdn-com.ez348.periodicos.capes.gov.br/S0959652610004452/1-s2.0-S0959652610004452-main.pdf?_tid=8a4ddb7e-922f-11e7-94f9-00000aab0f26&acdnat=1504612034_8574582872312cfaf7b77ff60ced2768>. Acesso em: 5 set. 2017.

CAGNO, Enrico; TRIANNI, Andrea. Exploring drivers for energy efficiency within small- and medium-sized enterprises: First evidences from Italian manufacturing enterprises. **Applied Energy**, [s. l.], v. 104, n. April, p. 276–285, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.10.053>>

CAGNO, Enrico; NERI, Alessandra; TRIANNI, Andrea. Broadening to sustainability the perspective of industrial decision-makers on the energy efficiency measures adoption: some empirical evidence. **Energy Efficiency**, [s. l.], v. 11, n. 5, p. 1193–1210, 2018. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85045132387&doi=10.1007%2Fs12053-018-9621-0&partnerID=40&md5=f2079afc2e5139d64ff095ab8821087f>>

CAPELLI, Alexandre. Energia Elétrica: qualidade e eficiência para aplicações Industriais. **São Paulo, SP: Érica**, [s. l.], 2013.

CASSETTARI, Lucia et al. Energy Resources Intelligent Management using on line real-time simulation: A decision support tool for sustainable manufacturing. **Applied Energy**, [s. l.], v. 190, p. 841–851, 2017. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85009188225&doi=10.1016%2Fj.apenergy.2017.01.009&partnerID=40&md5=213706242cc6a1bca9eaeabe224f8ece>>

CAUCHICK, P. et al. **Elaboração de Artigos Acadêmicos: Estrutura, Métodos e Técnicas**. [s.l.] : Elsevier Editora Ltda., 2017.

COOREMANS, Catherine. Make it strategic! Financial investment logic is not enough. **Energy Efficiency**, [s. l.], v. 4, n. 4, p. 473–492, 2011.

COOREMANS, Catherine. Investment in energy efficiency: Do the characteristics of investments matter? **Energy Efficiency**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 497–518, 2012.

CUSINATO, Rafael Tiecher. **Teoria da decisão sob incerteza e a hipótese da utilidade esperada: conceitos analíticos e paradoxos**. 2003. [s. l.], 2003.

DELBEKE, Jos; VIS, Peter. **EU climate policy explained**. [s.l.] : Routledge, 2015.

DONG, Jun; HUO, Huijuan. Identification of financing barriers to energy efficiency in small and medium-sized enterprises by integrating the fuzzy delphi and fuzzy DEMATEL Approaches. **Energies**, [s. l.], v. 10, n. 8, p. 1172, 2017. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1996-1073/10/8/1172>>

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; ANTUNES JÚNIOR, José Antonio Valle. **Design Science Research - Método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. [s.l.] : Bookman Editora, 2015.

EIA. Annual energy review. **Energy Information Administration, US Department of Energy: Washington, DC**, [s. l.], p. 80, 2019.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Eficiência Energética e Geração Distribuída para os próximos 10 anos (2015-2024)**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Série Estudos de Energia/DEA 12-16 - Ef energetica 2015-2024.pdf](http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Série%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2012-16-Ef%20energetica%202015-2024.pdf)>. Acesso em: 23 ago. 2017.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **PNE - Demanda de Energia 2050**. [s.l: s.n.]. 2019a. Disponível em: <<http://informesanuales.xm.com.co/2013/SitePages/operacion/3-1-Demanda-de-energia-nacional.aspx>>.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário estatístico de energia elétrica**. [s.l: s.n.], 2019b.

ESMAP et al. Global Solar Atlas. **Global Solar Atlas**, [s. l.], p. 1, 2019. Disponível em: <<https://globalsolaratlas.info/?c=-30.042169,-51.089811,11&s=-29.938037,-50.955416>>

FENERICH, F. C.; DA COSTA, S. E. G.; DE LIMA, E. P. Energy Efficiency in Industrial Environments: Overview and Research Agenda. **IEEE Latin America Transactions**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 415–422, 2017. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7867170/>>. Acesso em: 31 ago. 2017.

FIERGS. **FIERGS firma termo de cooperação para programa Indústria Solar RS**. 2019. Disponível em: <<https://www.fiergs.org.br/pt-br/noticia/fiergs-firma-termo-de-cooperacao-para-programa-industria-solar-rs>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

FINNERTY, Noel et al. Development of a Global Energy Management System for non-energy intensive multi-site industrial organisations: A methodology. **Energy**, [s. l.], v. 136, p. 16–31, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544216314839>>

FIRJAN, Federação das Indústrias do Rio de Janeiro. **Quanto custa a energia elétrica para a pequena e média indústria no Brasil?** [s.l: s.n.], 2017.

FORRESTER, Jay W. Industrial dynamics. 1961. **Pegasus Communications, Waltham, MA**, [s. l.], 1961.

FRESNER, Johannes et al. Energy efficiency in small and medium enterprises: Lessons learned from 280 energy audits across Europe. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 142, p. 1650–1660, 2017. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616319783>>

GIANELLONI, Francesco et al. The distributed electricity generation diffusion impact on the Brazilian distribution utilities. **3rd International Conference on Energy and Environment: bringing together Engineering and Economics**, [s. l.], 2017.

HENRIQUES, João; CATARINO, Justina. Motivating towards energy efficiency in small and medium enterprises. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 139, p. 42–50, 2016. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84996559032&doi=10.1016%2Fj.jclepro.2016.08.026&partnerID=40&md5=f0f25da557e3f82d30dc636cac9802b7>>

HO, William; MA, Xin. The state-of-the-art integrations and applications of the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], 2017.

HOLLANDER, Myles; WOLFE, Douglas A.; CHICKEN, Eric. **NonParametric Statistical Methods and Data**. New York: John Wiley & Sons, 2013. v. 72

HORSCHIG, Thomas; THRÄN, Daniela. Are decisions well supported for the energy transition? A review on modeling approaches for renewable energy policy evaluation. **Energy, Sustainability and Society**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 5, 2017. Disponível em: <<http://energysustainsoc.springeropen.com/articles/10.1186/s13705-017-0107-2>>. Acesso em: 29 ago. 2017.

IEA, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. 2016. **Energy Efficiency Market Report**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[www.1e.com/energycampaign/.../Server_Energy_and_Efficiency_Report_2009.pdf](http://www.iea.com/energycampaign/.../Server_Energy_and_Efficiency_Report_2009.pdf)>

ITAIPU. **Geração de Itaipu**. 2019. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/energia/geracao>>.

JI, Chuanyi; WEI, Yun; POOR, H. Vincent. Resilience of Energy Infrastructure and Services: Modeling, Data Analytics, and Metrics. **Proceedings of the IEEE**, [s. l.], v. 105, n. 7, p. 1354–1366, 2017.

JUNIOR, Antunes; VALLE, José Antônio. **Fundamentação do método das unidades de esforço de produção**. [s. l.], 1988.

KARLSSON, Magnus. The MIND method: A decision support for optimization of industrial energy systems - Principles and case studies. **Applied Energy**, [s. l.], v. 88, n. 3, p. 577–589, 2011.

KIM, Kyung Taek et al. Measuring the efficiency of the investment for renewable energy in Korea using data envelopment analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 47, p. 694–702, 2015. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032115001872>>. Acesso em: 7 set. 2017.

KNOBLOCH, Florian; MERCURE, Jean Francois. The behavioural aspect of green technology investments: A general positive model in the context of heterogeneous agents. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, [s. l.], v. 21, p. 39–55,

2016.

KWAKKEL, Jan H.; PRUYT, Erik. Exploratory Modeling and Analysis, an approach for model-based foresight under deep uncertainty. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 80, n. 3, p. 419–431, 2013.

LANDINI, Clesio L.; DE MELLO SANT'ANA, Paulo Henrique. Technical, economic, and regulatory analysis of the implementation of micro-cogeneration technology in the Brazilian manufacturing sector. **Energy Efficiency**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 957–971, 2017. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84996802200&doi=10.1007%2Fs12053-016-9496-x&partnerID=40&md5=605c08e117ab497a1d818e57f46a1983>>

LAWRENCE, Akvile et al. Specific Energy Consumption/Use (SEC) in Energy Management for Improving Energy Efficiency in Industry: Meaning, Usage and Differences. **Energies**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 247, 2019. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85060518905&doi=10.3390%2Fen12020247&partnerID=40&md5=8a0a740b6b0ab51f2bd5c854adb1f99d>>

LIMA, Pedro Nascimento. Manufatura Aditiva: Uma Análise a partir do método Robust Decision Making. [s. l.], 2018.

LIRA, Jean Marcel Sousa; SALGADO, Eduardo Gomes; BEIJO, Luiz Alberto. Which factors does the diffusion of ISO 50001 in different regions of the world is influenced? **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 226, p. 759–767, 2019.

LIU, Junjie et al. An overview of conceptual model for simulation and its validation. **Procedia engineering**, [s. l.], v. 24, p. 152–158, 2011.

LOPES, José Rafael et al. Energy efficiency improvement in non-intensive energy enterprises: A framework proposal. **Energies**, [s. l.], v. 11, n. 5, 2018.

LUNG, Robert Bruce et al. Ancillary Savings and Production Benefits in the Evaluation of Industrial Energy Efficiency Measures. In: ACEEE SUMMER STUDY ON ENERGY EFFICIENCY IN INDUSTRY 2005, **Anais...** [s.l: s.n.] Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-31844441468&partnerID=40&md5=bfadc1f48ae954155041b207c04ccec5>>

MALDONADO, Mauricio Uriona; VAZ, Caroline Rodrigues. Contribuições Da Dinâmica De Sistemas Na Engenharia De Produção: Áreas Potenciais De Pesquisa. **Xxxvi Encontro Nacional De Engenharia De Produção**, [s. l.], p. 10, 2016.

MARCONI, Marina Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia do trabalho científico**. 8ª edição ed. [s.l.] : São Paulo: Atlas, 2017.

MARTINS, Jonatas Campos; CARBONARI, Fernando. Modelagens de tempos entre interrupções, tempos até a recomposição e cálculo da disponibilidade de um alimentador de energia elétrica. In: V SEMANA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E TRANSPORTES - UFRGS 2005, Porto Alegre, RS, Brasil. **Anais...** Porto Alegre, RS, Brasil.

MARTINS, Jonatas Campos; MOURA, Greco Tusset. A aplicação da Árvore da Realidade Atual (ARA) no desempenho de uma concessionária quanto à continuidade do serviço prestado de energia elétrica. In: XXV ENEGEP 2005, Porto Alegre, RS, Brasil. **Anais...** Porto Alegre, RS, Brasil.

MAY, Gökan et al. Energy management in production: A novel method to develop key performance indicators for improving energy efficiency. **Applied Energy**, [s. l.], v. 149, p. 46–61, 2015.

MAY, Gökan et al. Energy management in manufacturing: From literature review to a conceptual framework. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 167, p. 1464–1489, 2018. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652616318224>>. Acesso em: 7 set. 2017.

MINGOTI, Sueli. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

MORANDI, Maria Isabel Wolf Motta et al. Foreseeing iron ore prices using system thinking and scenario planning. **Systemic Practice and Action Research**, [s. l.], v. 27, n. 3, p. 287–306, 2014.

MORANDI, Maria Isabel Wolf Motta. Tomada De Decisão Em Opções Estratégicas : Proposta Tomada De Decisão Em Opções Estratégicas : Proposta. [s. l.], 2017.

MORANDI, Maria Isabel Wolf Motta; CAMARGO, Luis Felipe. Revisão sistemática da literatura. In: **Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção**. Porto Alegre, RS, Brasil: Bookman, 2015. p. 141–175.

NASCIMENTO, Rodrigo Limp. Política De Eficiência Energética No Brasil. **Consultoria Legislativa**, [s. l.], p. 31, 2015.

NEHLER, Therese; RASMUSSEN, Josefine. How do firms consider non-energy benefits? Empirical findings on energy-efficiency investments in Swedish industry. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 113, p. 472–482, 2016. Disponível em: <http://ac-els-cdn-com.ez348.periodicos.capes.gov.br/S0959652615017369/1-s2.0-S0959652615017369-main.pdf?_tid=d11f5c56-9434-11e7-8477-00000aacb35e&acdnat=1504834205_91766c6055bb10dc3ed79f09078e6ceb>. Acesso em: 7 set. 2017.

NERI, Alessandra et al. Industrial sustainability: Modelling drivers and mechanisms with barriers. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 194, p. 452–472, 2018.

NEVER, Babette. Behave and save?: Behaviour, energy efficiency and performance of micro and small enterprises in Uganda. **Energy Research and Social Science**, [s. l.], v. 15, p. 34–44, 2016.

OLANREWAJU, O. A.; JIMOH, A. A. Review of energy models to the development of an efficient industrial energy model. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 30, p. 661–671, 2014. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84889030126&doi=10.1016%2Fj.rser.2013.11.007&partnerID=40&md5=410c232ca6205ee22e7aef8>>

26e53a81e>

OTTE, Evelien; ROUSSEAU, Ronald. Social network analysis: a powerful strategy, also for the information sciences. **Journal of Information Science**, [s. l.], v. 28, n. 6, p. 441–453, 2002. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/016555150202800601>>

PACE, Dale K. Ideas about simulation conceptual model development. **Johns Hopkins APL technical digest**, [s. l.], v. 21, n. 3, p. 327–336, 2000.

PALM, Jenny; THOLLANDER, Patrik. An interdisciplinary perspective on industrial energy efficiency. **Applied Energy**, [s. l.], v. 87, n. 10, p. 3255–3261, 2010. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-77954035918&doi=10.1016%2Fj.apenergy.2010.04.019&partnerID=40&md5=435ab9a90c11bc011321276c92f30a37>>

PARAMONOVA, Svetlana; THOLLANDER, Patrik. Energy-efficiency networks for SMEs: Learning from the Swedish experience. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 65, p. 295–307, 2016. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84978204407&doi=10.1016%2Fj.rser.2016.06.088&partnerID=40&md5=415c65572553c3453ab26b96dd739ec2>>

PATTERSON, Murray G. What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues. **Energy Policy**, [s. l.], v. 24, n. 5, p. 377–390, 1996. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0301421596000171>>. Acesso em: 5 set. 2017.

PEDROSO, Douglas Alexandre Fernandes. **Desenvolvimento de uma carga eletrônica CC regenerativa para ensaio de bancos de baterias** Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

PERRONI, M. G. et al. Investigation of the relationship between enterprise efficiency and energy efficiency adoption for the cases of industrial assessment centers in the US. In: 23RD INTERNATIONAL CONFERENCE FOR PRODUCTION RESEARCH, ICPR 2015 2015, **Anais...** [s.l: s.n.] Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84949683693&partnerID=40&md5=e49908e1230824c033fd08d0366d2d17>>

PERRONI, Marcos G. et al. The relationship between enterprise efficiency in resource use and energy efficiency practices adoption. **International Journal of Production Economics**, [s. l.], v. 190, p. 108–119, 2017. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S0925527316302171/1-s2.0-S0925527316302171-main.pdf?_tid=4649fc54-8e6b-11e7-b41d-00000aacb35e&acdnat=1504197886_2c7dbed7ff0d0e6606bfd431ff50ae92>. Acesso em: 29 ago. 2017.

PIDD, Michael. **Tools for Thinking: Modelling in Management Science** John Wiley and Sons Ltd, 2003.

PIOVEZAN, Luciana Beatriz; FUJITA, Mariângela Spotti Lopes. Análise de cocitação de autores: uma aplicação em estudos de indexação. **Revista da Faculdade de**

Biblioteconomia e Comunicação da UFRGS, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 110–129, 2015.

PTASINSKI, Krzysztof J. **Renewable Energy Resources**. [s.l.: s.n.]. v. 89, 2015.

PUSNIK, Matevz et al. Gap analysis of industrial energy management systems in Slovenia. **Energy**, [s. l.], v. 108, n. November, p. 41–49, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544215015261>>

QUERALT, Germà Bel i; JOSEPH, Stephan. Climate Change Mitigation and the Role of Technologic Change: Impact on selected headline targets of Europe's 2020 climate and energy package. **IREA**, [s. l.], 2016.

RAHMANN, Claudia et al. Break-even points of battery energy storage systems for peak shaving applications. **Energies**, [s. l.], v. 10, n. 7, 2017.

RASMUSSEN, Josefine. The additional benefits of energy efficiency investments—a systematic literature review and a framework for categorisation. **Energy Efficiency**, [s. l.], v. 10, n. 6, p. 1401–1418, 2017. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85019717844&doi=10.1007%2Fs12053-017-9528-1&partnerID=40&md5=6102a5ed421b4068cc384c95562f37eb>>

RICHARDSON, George P. Reflections on the foundations of system dynamics. **System Dynamics Review**, [s. l.], v. 27, n. 3, p. 219–243, 2011.

ROBINSON, Stewart. Conceptual modeling for simulation: issues and research requirements. In: PROCEEDINGS OF THE 38TH CONFERENCE ON WINTER SIMULATION 2006, **Anais... : Winter Simulation Conference**, 2006.

RONCERO-CLEMENTE, C. et al. Three-phase regenerative electronic load to test shunt power conditioners. **2011 7th International Conference-Workshop Compatibility and Power Electronics, CPE 2011 - Conference Proceedings**, [s. l.], p. 178–183, 2011.

ROTZEK, Jan Niklas; SCOPE, Christoph; GÜNTHER, Edeltraud. What energy management practice can learn from research on energy culture? **Sustainability Accounting, Management and Policy Journal**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 515–551, 2018. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85048192113&doi=10.1108%2FSAMPJ-07-2017-0067&partnerID=40&md5=3a29f5bab423e4b70c506abec93f6f2f>>

SA, Aida; THOLLANDER, Patrik; RAFIEE, Majid. Industrial Energy Management Systems and Energy-Related Decision-Making. **Energies**, [s. l.], v. 11, n. 10, p. 2784, 2018. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85055992528&doi=10.3390%2Fen11102784&partnerID=40&md5=64e5e59d83e00bdaf96e02bbf0f99c76>>

SÁENZ, Juan Pablo et al. Electric utility resource planning using Continuous-Discrete Modular Simulation and Optimization (CoDiMoSO). **Computers and Industrial Engineering**, [s. l.], v. 63, n. 3, p. 671–694, 2012. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84866312983&doi=10.1016%2Fj.cie.2012.01.020&partnerID=40&md5=371dfb568e9>>

717c2f3d7256f8a623f29>

SAUNDERS, Mark; THORNHILL, Adrian; LEWIS, Philip. **Research Methods for business students**. 7th. ed. Harlow: Edinburgh Gate, 2016.

SCHULZE, Mike et al. Energy management in industry - A systematic review of previous findings and an integrative conceptual framework. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 112, p. 3692–3708, 2016. Disponível em: <http://ac-els-cdn-com.ez348.periodicos.capes.gov.br/S0959652615007891/1-s2.0-S0959652615007891-main.pdf?_tid=80755f76-93fd-11e7-b147-00000aacb362&acdnat=1504810445_d0ee4bf4a66f359ff1c6515f432aa5b8>. Acesso em: 7 set. 2017.

SENGE, Peter M. A quinta disciplina: arte e prática da organização que aprende. **A quinta disciplina: arte e prática da organização que aprende**, [s. l.], 2006.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). **Biometrika**, [s. l.], v. 52, n. 3/4, p. 591, 2006.

SILVA, YFFC; BORTONI, E. Sistemas de Armazenamento de Energia Elétrica em Redes Inteligentes: Características, Oportunidades e Barreiras. **Revista Brasileira de Energia**, [s. l.], v. 22, p. 13–48, 2016.

SIMON, Herbert A. A behavioral model of rational choice. **The quarterly journal of economics**, [s. l.], v. 69, n. 1, p. 99–118, 1955.

SOLENERG. **A Bateria Estacionária Para Geradores Fotovoltaicos Autônomos**, 2019. Disponível em: <www.solenerg.com.br>

STERMAN, John D. 2000. **Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.lavoisier.fr/notice/frJWOAR6SA23WLOO.html>>

SUDHAKARA REDDY, B. Barriers and drivers to energy efficiency - A new taxonomical approach. **Energy Conversion and Management**, [s. l.], v. 74, p. 403–416, 2013. Disponível em: <http://ac-els-cdn-com.ez348.periodicos.capes.gov.br/S019689041300352X/1-s2.0-S019689041300352X-main.pdf?_tid=0f566b24-93fc-11e7-9070-00000aab0f6c&acdnat=1504809826_279306c7fa19b57d6e0f1585218819f3>. Acesso em: 7 set. 2017.

THOLLANDER, Patrik; PALM, Jenny. Industrial energy management decision making for improved energy efficiency-strategic system perspectives and situated action in combination. **Energies**, [s. l.], v. 8, n. 6, p. 5694–5703, 2015. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1996-1073/8/6/5694/>>

TRAPP, Guilherme Sperling. **Avaliação do custo sistêmico total da geração de energia eólica frente a substituição das fontes hidrelétrica e termoeletrica considerando as externalidades socioeconômicas e ambientais**. 2015. [s. l.], 2015.

TRIANNI, Andrea et al. Classification of drivers for industrial energy efficiency and

their effect on the barriers affecting the investment decision-making process. **Energy Efficiency**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 199–215, 2017. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez348.periodicos.capes.gov.br/content/pdf/10.1007%2Fs12053-016-9455-6.pdf>>. Acesso em: 7 set. 2017.

TRIANNI, Andrea et al. Energy management: A practice-based assessment model. **Applied Energy**, [s. l.], v. 235, n. March 2018, p. 1614–1636, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.032>>

TRIANNI, Andrea; CAGNO, Enrico; DE DONATIS, Alessio. A framework to characterize energy efficiency measures. **Applied Energy**, [s. l.], v. 118, p. 207–220, 2014. Disponível em: <http://ac-els-cdn-com.ez348.periodicos.capes.gov.br/S0306261913010416/1-s2.0-S0306261913010416-main.pdf?_tid=c1f72aa6-93df-11e7-b184-00000aacb361&acdnat=1504797671_e6f2183a3cdd2f315822597008b88ab9>. Acesso em: 7 set. 2017.

TRIANNI, Andrea; CAGNO, Enrico; NERI, Alessandra. Modelling barriers to the adoption of industrial sustainability measures. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 168, p. 1482–1504, 2017. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652617317018>>

TSANG, K. M.; CHAN, W. L. Fast acting regenerative DC electronic load based on a SEPIC converter. **IEEE Transactions on Power Electronics**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 269–275, 2012.

TWIDELL, John; WEIR, Tony. **Renewable Energy Resources**. 3rd. ed. London: Routledge, 2015. v. 12

VACCARO, Guilherme Luís Roehe; MARTINS, Jonatas Campos; MENEZES, Thiago Morais. Análise estatística da qualidade de níveis de tensão em sistemas de distribuição de energia elétrica. **Produção**, [s. l.], v. 21, n. 3, p. 539–552, 2011.

WANG, Junwei et al. Integration of system-dynamics, aspect-programming, and object-orientation in system information modeling. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 847–853, 2014.

WANG, Zhenfeng et al. Energy performance contracting, risk factors, and policy implications: Identification and analysis of risks based on the best-worst network method. **Energy**, [s. l.], p. 1–13, 2019. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85059562337&doi=10.1016%2Fj.energy.2018.12.140&partnerID=40&md5=01eb88fd806c717dd34167c852f4565>>

WEC, World Energy Council. 2016. **Energy Efficiency: a Straight Path Towards Energy Sustainability**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <www.worldenergy.org>.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso-: Planejamento e Métodos**. [s.l.] : Bookman editora, 2015.

ZANARDO, Rafael Petri et al. Energy audit model based on a performance evaluation system. **Energy**, Oxford, v. 154, n. 2089868650, p. 544–552, 2018.

Disponível em: <http://link.periodicos.capes.gov.br/sfxlcl41?url_ver=Z39.88-2004&rft_val_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:journal&genre=article&sid=ProQ:ProQ%3Aante&atitle=Energy+audit+model+based+on+a+performance+evaluation+system&title=E+nergy&issn=03605442&date=2018-07-01&volu>

ZENG, Ming et al. Industrial System Energy Efficiency Assessment Using System Dynamics. **Proceedings of the 2015 3rd International Conference on Machinery, Materials and Information Technology Applications**, [s. l.], v. 35, p. 1299–1302, 2015.

ZHANG, Suxiang et al. 2017. The research and application of the power big data. In: (Chen, X, Ed.) SEVENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONICS AND INFORMATION ENGINEERING 2017, **Anais...** [s.l.: s.n.] Disponível em: <<http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?doi=10.1117/12.2265486>>

ZHU, Shuo et al. A carbon efficiency evaluation method for manufacturing process chain decision-making. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 148, p. 665–680, 2017.

APÊNDICE A - PROTOCOLO DA RSL

PESQUISADOR: Jonatas Campos Martins

DATA: set/2017

FRAMEWORK CONCEITUAL

Tema da Pesquisa: Eficiência Energética em Operações

Objeto de pesquisa: Ferramentas de apoio à tomada de decisão para Eficiência Energética em ambientes industriais.

Resumo da situação problema: A incerteza no suprimento energético tem despertado o campo de pesquisa da eficiência energética, pois a utilização eficiente da energia, assim como o atual contexto (que envolve mudanças de mercado, econômicas, políticas e tecnológicas) indicam a necessidade de abordagens que possam auxiliar a avaliação do impacto das decisões e tecnologias utilizadas para incremento da eficiência energética. Esta necessidade é ainda mais premente em ambientes industriais, pelo fato de a indústria de manufatura requerer aproximadamente 1/3 da energia primária, sendo um dos principais consumidores de energia. Ou seja, além dos valores de matéria-prima e mudanças na demanda, a energia também pode afetar os negócios e a competitividade das empresas.

CONTEXTO

A eficiência energética será considerando no contexto de Estratégias de Atendimento à Demanda futura de Energia Elétrica, assumindo que isto pode ser obtido por meio de:

- (i) Gerenciamento pelo lado da Demanda;
- (ii) Expansão da Oferta: Geração Distribuída e autoprodução.

Ferramentas de apoio à tomada de decisão inclui quaisquer modelos, métodos, técnicas, e/ou abordagens estruturadas e sistematizadas que possam ser utilizados para apoiar o processo decisório.

Empresas do segmento industrial, empresas de manufatura, sistemas produtivos, sistema de manufatura.

Empresas de uso não intensivo de energia.

HORIZONTE

Estudos publicados a partir de 1973 (Crise do Petróleo).

CORRENTES TEÓRICAS

Abordagens utilizadas para “avaliar os impactos das decisões e tecnologias para incremento da eficiência energética em ambientes industriais”.

Estratégias, Indicadores e Práticas relacionadas a EE.

IDIOMAS

Inglês; Português.

QUESTÃO DE REVISÃO

Como avaliar os impactos das decisões e tecnologias para incremento da eficiência energética em ambientes industriais?

ESTRATÉGIA DE REVISÃO

() Agregativa (X) Configurativa

CRITÉRIOS DE BUSCA

Critérios de inclusão:

Aplicação em ambientes industriais;
 Uso de modelagem;
 Uso métodos, técnicas, e/ou abordagens estruturadas e sistematizadas;
 Conter estratégias, indicadores e/ou práticas relacionadas à EE
 Texto completo;

Critérios de exclusão:

Não conter artefato relacionado avaliação e/ou tomada de decisão;
 EE de motores, turbinas e afins;
 EE predial;
 EE relacionada ao uso de veículos elétricos.
 EE chips, memórias, etc

TERMOS DE BUSCA

#

P01: "Energy efficiency" AND "Decision support" AND (Manufacturing OR Industr*)
 P02: "Energy efficiency" AND "Decision-making" AND (Manufacturing OR Industr*)
 P03: "Energy efficiency" AND "Economic evaluation" AND (Manufacturing OR Industr*)
 P04: "Energy efficiency" AND "Impact assessment" AND (Manufacturing OR Industr*)
 P05: "Energy efficiency" AND "Strategic decision" AND (Manufacturing OR Industr*)
 P06: "Energy Management" AND "Decision support" AND (Manufacturing OR Industr*)
 P07: "Energy Management" AND "Decision-making" AND (Manufacturing OR Industr*)
 P08: "Energy Management" AND "Economic evaluation" AND (Manufacturing OR Industr*)
 P09: "Energy Management" AND "Impact assessment" AND (Manufacturing OR Industr*)
 P10: "Energy Management" AND "Strategic decision" AND (Manufacturing OR Industr*)

#

P11: "Industrial energy efficiency" AND "Decision support"
 P12: "Industrial energy efficiency" AND "Decision-making"
 P13: "Industrial energy efficiency" AND Evaluation
 P14: "Industrial energy efficiency" AND Assessment
 P15: "Industrial energy efficiency" AND Strateg*
 P16: "Industrial energy management" AND "Decision support"
 P17: "Industrial energy management" AND "Decision-making"
 P18: "Industrial energy management" AND Evaluation
 P19: "Industrial energy management" AND Assessment
 P20: "Industrial energy management" AND Strateg*

FONTES DE BUSCA

Bases de dados:

(1) ProQuest | Technology Collection
 (2) Scopus | Elsevier
 (3) Science Direct | Elsevier
 (4) Web of Science | Coleção Principal
 () Compendex | Engineering Village
 () Emerald Insight
 () Periódicos Capes

Internet:

() Google Scholar

Outras (*Grey Literature*):

() Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL
 () Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE
 () Empresa de Pesquisa Energética - EPE
 () International Energy Agency - IEA
 () International Renewable Energy Agency – IRENA

APÊNDICE B - RELATÓRIO DO PROJETO PILOTO

Este relatório apresenta a descrição das etapas realizadas para desenvolvimento da primeira tentativa de construção do modelo de dinâmica de sistemas e contempla as seguintes etapas:

- Descrição da Revisão Sistemática de Literatura V0;
- Relato de Modelo Piloto.

O texto e as análises foram mantidos conforme descritos no relatório original, sem nenhum tipo de correção ou alteração de conteúdo.

DESCRIÇÃO DA RSL V0

A revisão da literatura, busca, sobretudo, localizar publicações que abordam a questão estudada como forma de adicionar subsídios teóricos para o desenvolvimento da pesquisa. Dividem-se em duas seções as pesquisas do presente trabalho, sendo estas de classes distintas, mas, que conjuntamente, dão sustentação à realização desta pesquisa. A primeira seção é voltada à **perspectiva conceitual/mercadológica** que se refere à relevância da aplicação que originou o desenvolvimento do mesmo, enquanto conceito e, mais especificamente, às publicações que se referem a aplicação do CRG. Também foram pesquisadas empresas que comercializam este tipo de produto para verificar a existência deste mercado, aparentemente potencial. A segunda perspectiva, **energias renováveis**, refere-se ao principal objetivo do projeto que versa sobre a utilização do CRG acoplado a alguma fonte de energia renovável. Esta busca tem como objetivo localizar publicações existentes nas bases de dados, a que se obteve acesso, a fim de se captar o nível e a quantidade de produções científicas relacionadas ao objetivo da pesquisa, e principalmente, utilizá-las para o desenvolvimento da estrutura sistêmica que norteará o entendimento do potencial mercadológico sistêmico do CRG. A próxima seção desenvolve a perspectiva **conceitual/mercadológica**.

PERSPECTIVA CONCEITUAL/MERCADOLÓGICA

Embora não seja o objetivo da pesquisa abordar tecnicamente o produto CRG, bem como suas funcionalidades e interfaces, a pesquisa com viés

conceitual/mercadológica buscou, primeiramente, identificar publicações sobre a aplicação do CRG, enquanto regenerador de carga eletrônica. Posteriormente buscou-se identificar empresas que comercializam produtos com a mesma funcionalidade do CRG. Em outras palavras, este processo objetivou, sobretudo, verificar o potencial mercadológico do produto enquanto equipamento para testes de equipamentos eletrônicos.

Vale ressaltar o conceito do equipamento desenvolvido para o início deste processo: O CRG se resume a um Sistema composto por um equipamento eletrônico, trifásico, regenerativo, constituído por dois conversores de potência (Retificador e Inversor) que possui a função de transferir a energia elétrica de uma fonte primária (saída do equipamento em teste) de volta para a rede elétrica, atuando na função de carga eletrônica.

PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS

A sistemática de pesquisa por trabalhos acadêmicos que abordassem a temática “Regenerador de Carga Eletrônica”, foi baseada na pesquisa de Lacerda (2009) cujo autor realizou uma pesquisa sistemática da literatura, objetivando justificá-la pela comprovação de originalidade por meio da ausência de tal tema nas bases de dados a que o autor teve acesso por meio de um movimento de implosão, ou seja, localizado artigos que tem relação com o tema da pesquisa em uma grande massa de trabalhos acadêmicos.

Esta tentativa, diferentemente, busca localizar publicações a fim de verificar se o CRG, enquanto conceito, se encontra na literatura, e, por consequência indicar o desenvolvimento de produtos similares no contexto mercadológico.

Na seleção das bases, a pesquisa sistemática foi dividida em três macro bases de informações:

- I. Base de Informações de Teses e Dissertações Nacionais
- II. Base de Informações de Periódicos Científicos nacionais e internacionais
- III. Google nacional e internacional

No Quadro 1 a seguir são explicitadas as principais bases de informação que fizeram parte desta escolha. Estas foram as bases disponíveis para a procura.

Quadro 1: Bases de informação (busca1)

Tipo da Base	Amplitude Geográfica	Nome da Fonte
Base de Informações de Teses e Dissertações Nacionais	Nacional	CAPES
Periódicos	Internacional	Scopus
		SciELO
		EBSCO
Google	Nacional e Internacional	Google Acadêmico

Para a realização das buscas, necessitou-se especificar quais palavras chaves poderiam ser utilizadas de forma a localizar artigos que abordassem o tema. Após validação conjunta com especialista Schneider Eletric foi possível definir as seguintes palavras, apresentadas no quadro 2.

Quadro 2: Termos para busca (busca1)

Fonte	Palavra-chave central	Conector	Palavras-chave de ligação
Nacional	Regeneração (Titulo)	E	Carga Eletronica
Internacional	Regenerative (Title)	And	Electronic Load

Vale ressaltar que foi considerado um horizonte temporal de 5 anos, ou seja, publicações posteriores a 2010. As palavras-chave foram consideradas, principalmente nos títulos dos artigos, visto que os resultados, quando a busca considerava o restante do artigo, eram demasiados e de difícil filtragem.

De qualquer forma, a partir da busca foi possível localizar publicações científicas que evidenciam a utilização destes sistemas para testar o comportamento de equipamentos e melhorar, por consequência, sua estabilidade e confiabilidade (RONCERO-CLEMENTE et al., 2011).

Foram localizadas 14 publicações científicas que abordam o tema. Dentre estes, destaca-se 8 que abordam diretamente o tema, conforme o quadro 3:

Quadro 3: Artigos (busca1)

No	Título da Publicação	Título do Periódico	Ano
1	FAST ACTING REGENERATIVE DC ELECTRONIC LOAD BASED ON A SEPIC CONVERTER	TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS	2012
2	REGENERATIVE AC ELECTRONIC LOAD WITH ONE-CYCLE CONTROL	APPLIED POWER ELECTRONICS CONFERENCE AND EXPOSITION (APEC), 2010 TWENTY-FIFTH ANNUAL IEEE	2010
3	THREE-PHASE REGENERATIVE ELECTRONIC LOAD TO TEST SHUNT POWER CONDITIONERS	COMPATIBILITY AND POWER ELECTRONICS (CPE), 2011 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE-WORKSHOP	2011
4	REGENERATIVE AC ELECTRONIC LOAD WITH LCL FILTER	INDUSTRY APPLICATIONS (INDUSCON), 2012 10TH IEEE/IAS INTERNATIONAL CONFERENCE ON	2012
8	CARGA ELETRÔNICA CA PROGRAMÁVEL COM REGENERAÇÃO DE ENERGIA	TESE E DISSERTAÇÃO	2012
5	REGENERATIVE LOAD ELECTRIC POWER MANAGEMENT SYSTEMS AND METHODS	PATENT NO.: US 8,829,826 B2	2014
6	POWER CONTROL OF A BIDIRECTIONAL DC BUS FOR FUEL CELLS APPLICATIONS	REV.EIA.ESC.ING.ANTIOQ	2012
7	DESIGN, COMMISSIONING AND TESTING OF AN ELECTRODYNAMOMETER BASED ON PM SYNCHRONOUS MACHINES	JOURNAL OF APPLIED RESEARCH AND TECHNOLOGY	2014

Foram localizadas 3 publicações (6 – 8) que abordavam o tema. Após leitura dos artigos, conclui-se que os mesmos descrevem aplicações que realizam a regeneração de energia a partir de motores, freios, etc. Estas abordam sistemas de gerenciamento do processo de regeneração e tratam dos elementos que compõem esta regeneração, mas não abordam o conceito de carga eletrônica regenerativa. Destaca-se dentre elas, uma patente de 2014 localizada nas buscas com o Google acadêmico.

As publicações de (1 – 5) abordam aplicações análogas ao CRG, com exceção da publicação 1 que trata de uma aplicação que regenera a energia a partir de um banco de baterias. Os demais artigos destacam a utilização de sistemas com cargas eletrônicas que regeneram a energia para a rede. Estes sistemas garantem a confiabilidade dos testes e evitam o desperdício de energia dissipada em forma de calor (RONCERO-CLEMENTE et al., 2011; TSANG; CHAN, 2012). Sendo assim,

estas evidenciam a presença do conceito na comunidade acadêmica, o que corrobora com a avaliação da Schneider Eletric sobre a possibilidade de desenvolvimento de patente, sobre o produto. Considerando que o conceito está presente na literatura, iniciou-se a busca por produtos no mercado que desenvolveram as funções do CRG. Esta busca é descrita na próxima seção.

MERCADO DE CARGAS ELETRÔNICAS REGENERATIVAS

Após a análise de publicações científicas, optou-se pela busca de empresas que comercializam este produto, pois desta forma é possível evidenciar se o produto está sendo comercializado no mercado. A busca foi realizada via Google e utilizou-se as mesmas palavras chave da busca anterior. Foram encontradas várias empresas que comercializam produtos que funcionam como o CRG e ainda regeneram energia. Os produtos evitam o gasto de energia que seria utilizado em cargas eletrônicas tradicionais e não necessitam de sistemas especiais de resfriamento. As empresas localizadas são as seguintes:

<https://www.myway.co.jp>

<http://www.kikusuiamerica.com>

<http://www.keisoku.co.jp>

<http://nhresearch.com>

<http://inteproate.com>

Os produtos destas empresas utilizam o mesmo conceito de produto e comercializam o mesmo. Não foram localizadas empresas brasileiras, embora a busca tenha se restringido pelas palavras chave. Finalizando, a partir da literatura, foi possível verificar, primeiramente, que o conceito que originou o CRG estava sendo discutido entre os entes acadêmicos, atestando assim, que a aplicação não é totalmente original, no contexto acadêmico. Depois foram encontradas empresas que comercializam o conceito em forma de produto. Portanto, há um mercado específico para o CRG. A seção a seguir aborda a pesquisa de referências sobre as fontes de energias renováveis que auxiliará no dimensionamento de outros mercados potenciais.

PERSPECTIVA DAS FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

Esta busca está voltada para a perspectiva das fontes de energias renováveis e baseia-se, nas possibilidades de integrações definidas a priori pelos especialistas da Schneider Eletric. Segundo a empresa, o CRG pode ser acoplado a qualquer fonte

de energia renovável. Desta forma, aborda-se nesta pesquisa nas produções científicas internacionais e nacionais o tema voltado para fontes de energias renováveis. Na seleção das bases, a pesquisa sistemática foi dividida em quatro macro bases de informações. No Quadro 4, são explicitadas as principais bases de informação que fizeram parte da busca.

Quadro 4: Bases de informação (busca2)

Tipo da Base	Amplitude Geográfica	Nome da Fonte
Base de Informações de Teses e Dissertações Nacionais	Nacional	CAPES
Periódicos	Internacional	Scopus
		SciELO
		EBSCO
Google	Nacional e Internacional	Google Acadêmico

Para a escolha das palavras chave, foram necessárias várias combinações entre as palavras principais e outras, que dessem maior sentido à procura. As palavras chave escolhidas foram as seguintes, descritas no Quadro 5:

Quadro 5: Termos para busca (busca2)

Fonte	Palavra-chave central	Conector	Palavras-chave de ligação
Nacional	Fontes de Energias Renováveis (Titulo)	E	Revisão Literatura
Internacional	Renewable Energy sources (Title)	And	Review

Na própria execução da pesquisa, optou-se pela localização das palavras nos títulos, visto que, se executada diferentemente, se tornaria demasiadamente extensa e também com pouca capacidade de filtragem, considerando o objetivo do estudo.

Quanto à amplitude temporal, que também é um procedimento adotado no trabalho de Lacerda (2009), optou-se, pela delimitação deste atributo para o ano de

2010, considerando que este é um tema atualmente muito abordado na literatura. Esta delimitação temporal também teve que ser respeitada, uma vez que as tecnologias que envolvem o desenvolvimento de energias renováveis avançam, tecnologicamente, a cada ano. Sendo assim, considerando que este estudo guiará uma estratégia mercadológica, necessita-se que as informações sejam atuais.

Foi incluído no método de Lacerda (2009) o Google Acadêmico, pois este, além de localizar artigos científicos, também faz uso de uma ferramenta muito útil, chamada de “Citado por”. Este movimento caracteriza-se por um movimento de explosão, ou seja, quando poucos artigos são localizados e estes são principalmente antigos, esta ferramenta permite a localização de artigos mais atuais que fizeram uso do exemplar mais antigo. Passando para a fase da execução da busca propriamente dita, levando em consideração todos os passos anteriormente descritos, a Quadro 6 resume a quantidade de artigos localizados em cada uma das bases que estão inseridas nas macrobases.

Quadro 6: Artigos analisados (busca2)

Tipo da Base	Amplitude Geográfica	Nome da Fonte	Artigos Localizados	Resumos de artigos lidos	Artigos lidos
Base de Informações de Teses e Dissertações Nacionais	Nacional	CAPEL	0	0	0
		Subtotal	0	0	0
	Internacional	Scopus	33	1	0
		SciELO	12	1	1
		EBSCO	23	11	10
		Subtotal	68	13	11
Google	Nacional e Internacional	Google Acadêmico	37	13	4
		Subtotal	37	13	4
		Total Geral	105	24	14

De um total de 105 artigos localizados, considerando as bases definidas, de 24 foram lidos os resumos e abstracts, totalizando uma frequência relativa de 22,8%. De alguns destes artigos, obtiveram-se tão somente os abstracts, ou seja, os artigos de periódicos não estavam disponíveis na íntegra. Foram analisados 14 artigos na íntegra do total de 105, pois foram estes os encontrados que, de alguma forma, abordavam o tema estudado e poderiam auxiliar no processo posterior de desenvolvimento da estrutura sistêmica. O Quadro 7 detalha estas 14 publicações.

Quadro 7: Artigos (busca2)

No	Título da Publicação	Título do Periódico	Ano
1	EFFECTS OF ENERGY POLICIES ON INDUSTRY EXPANSION IN RENEWABLE ENERGY	RENEWABLE ENERGY	2009
2	SOCIAL ACCEPTANCE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES: A REVIEW OF CONTINGENT VALUATION APPLICATIONS	RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS	2014
3	A REVIEW OF DRIVERS, BENEFITS, AND CHALLENGES IN INTEGRATING RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO ELECTRICITY GRID	RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS	2011
4	DEMAND RESPONSE IN SMART ELECTRICITY GRIDS EQUIPPED WITH RENEWABLE	RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS	2013
5	LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) OF ELECTRICITY GENERATION TECHNOLOGIES	RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS	2013
6	DESIGN AND IMPLEMENTATION OF HYBRID RENEWABLE ENERGY SYSTEMS	RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS	2014
7	GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM RENEWABLE ENERGY SOURCES: A REVIEW	RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS	2014
8	RENEWABLE ENERGY RESOURCES: CURRENT STATUS, FUTURE PROSPECTS AND THEIR ENABLING TECHNOLOGY	RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS	2014
9	BIOFUELS–RENEWABLE ENERGY SOURCES: A REVIEW	JOURNAL OF DISPERSION SCIENCE AND TECHNOLOGY	2010
10	SOCIAL, ECONOMICAL AND ENVIRONMENTAL IMPACTS OF RENEWABLE ENERGY SYSTEMS	RENEWABLE ENERGY	2010
11	ENERGIA RENOVÁVEL: OS GANHOS E OS IMPACTOS SOCIAIS, AMBIENTAIS E ECONÔMICOS NAS INDÚSTRIAS BRASILEIRAS	ENESEP	2012
12	CHALLENGES OF INTEGRATING RENEWABLE ENERGY SOURCES TO SMART GRIDS: A REVIEW	RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS	2015
13	A REVIEW OF DRIVERS, BENEFITS, AND CHALLENGES IN INTEGRATING RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO ELECTRICITY GRID	RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS	2012
14	REVIEW OF SUPPORT SCHEMES FOR RENEWABLE	SLOAN SCHOOL OF MANAGEMENT	2011

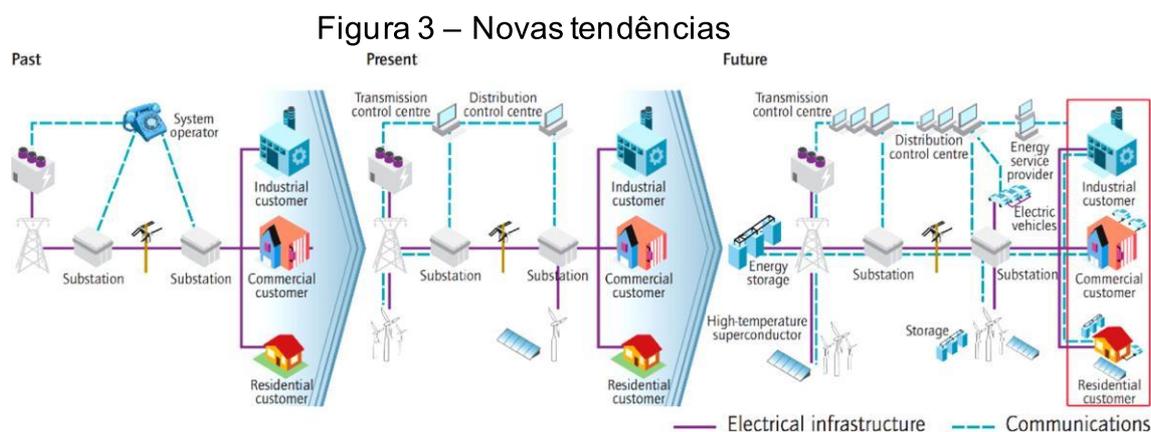
	ENERGY SOURCES IN SOUTH AMERICA		
15	RENEWABLE ENERGY RESOURCES	LIVRO	2015
16	RENEWABLE ENERGY RESOURCES AND CLIMATE CHANGE MITIGATION	LIVRO	2010

O primeiro conceito que deve ser explorado é o de energia renovável: A energia renovável é obtida a partir de fluxos naturalmente repetitivos e persistentes de energia que ocorrem no ambiente local (PTASINSKI, 2015). Sobre este conceito perpassou a análise das principais fontes de energias renováveis. Nota-se a partir destas publicações analisadas que existem várias fontes de energias renováveis, várias aplicações e diferentes impactos e dificuldades para implementação. Então, podem-se dividir estas publicações em três grupos de trabalhos distintos.

No primeiro grupo, alguns artigos discutem os impactos que da implementação de tecnologias de energias renováveis. Estes impactos perpassam sobre os âmbitos sociais, ambientais e econômicos. Estes artigos, acima de tudo, evidenciam as diversas formas para a implantação, aceitação e como deve ser a interface com outras fontes de energias consolidadas. Mihalakakou et al (2014) argumenta sobre a seguinte problemática: As fontes tradicionais de energia custam pouco mas indiscutivelmente geram externalidade sociais e ambientais, enquanto isso, as tecnologias que envolvem fontes renováveis custam caro, mas tem poucas externalidades. Os autores buscam entender como funciona a aceitação das fontes de energias renováveis além de abordarem o potencial desta forma de energia.

Todos os artigos encontrados, do segundo grupo, têm, em seu conteúdo, elementos que constituem o futuro da energia renovável. Estes autores discutem tendências e abordam um universo de possibilidades. Discute-se sobre sistemas híbridos, geração distribuída, geração em comunidades isoladas como ilhas, florestas e desertos. Todas estas possibilidades demonstram o potencial de mercado para cada umas destas possibilidades/fontes. Segundo Twidell (PTASINSKI, 2015) a demanda por eletricidade está aumentando em praticamente todos os países, ainda mais com a substituição de combustíveis fósseis nos processos que envolvem transporte, sendo assim, iniciativas de integração entre fontes de eletricidade estão sendo desenvolvidas. Adicionando, estas tecnologias, desenvolvidas em conjunto com modernas tecnologias de smartgrid e micro geração, podem otimizar esta integração a partir de uma gestão dinâmica da demanda de eletricidade (PTASINSKI, 2015).

Exaltam-se, também neste mesmo grupo, trabalhos que estudam elementos que expõem como devem ser as interfaces com o sistema de distribuição atual. Estas tecnologias podem propiciar um salto tecnológico no sentido de geração distribuída que auxilia na manutenção da potência de geração coletiva (AGHAEI; ALIZADEH, 2013). Políticas de cobrança também podem ser lançadas, visto que existem picos de demanda e que esta energia não pode ser armazenada em larga escala. A Figura 3 simboliza as novas tendências para sistemas de eletricidade inteligentes.



Fonte: Blaabjerg et al (2014)

Nos artigos do grupo 3, são abordados temas específicos de diferentes fontes de energias renováveis. Estes são os trabalhos científicos que também darão subsídios para o desenvolvimento do presente trabalho, uma vez que abordam as fontes de energias renováveis e também realizam comparações que facilitam no enquadramento da pesquisa com limitações geográficas e/ou ambientais.

Segundo Twidell (PTASINSKI, 2015) as fontes primárias de energia se concentram em 5 grupos:

Sol

O movimento e potencial gravitacional do Sol, da Lua e da Terra;

A energia geotérmica de arrefecimento, reações químicas, e decaimento radioativo natural.

Reações nucleares da terra;

As reações químicas a partir de fontes minerais.

Energias renováveis decorrem dos três primeiros itens. Vale ressaltar que várias fontes como biomassa e hídrica são derivadas do sol ou *potencial gravitacional da terra*.

As diversas fontes de energia renovável diferem em possibilidades, impactos, tecnologias, custo, etc. Os autores têm em seus trabalhos conceitos gerais que norteiam as possibilidades de cada uma das fontes renováveis. O Quadro 8, exemplifica uma comparação com as vantagens e desvantagens de cada uma das fontes de energia:

Quadro 8: Fontes de energias renováveis

Fonte de energia renovável	Vantagens	Desvantagens
Biomassa	<i>Abundante e renovável</i>	<i>Pode resultar em poluição do ar</i>
	<i>Pode ser alimentada com resíduos</i>	<i>Pode não ser rentável</i>
Geotérmica	<i>Oferta ilimitada de energia</i>	<i>Elevado custo inicial</i>
	<i>Não produz poluição do ar ou da água</i>	<i>Os custos de manutenção, devido à corrosão, pode ser um problema</i>
Hídrica	<i>Abundante, limpa e segura</i>	<i>Pode causar o alagamento de comunidades e paisagens circundantes.</i>
	<i>Facilmente armazenada em reservatórios</i>	<i>Barragens ter grandes impactos ecológicos sobre os moradores. Também pode ter impacto ambiental significativo</i>
	<i>Relativamente barata</i>	<i>Pode ser usado apenas em locais com potencial hídrico</i>
	<i>Oferece benefícios de lazer, como passeios de barco, pesca, etc</i>	<i>Os melhores locais para barragens foram usados</i>
Marinha	<i>Ideal para ilhas</i>	<i>A construção pode ser cara</i>
	<i>Capta a energia que não seria recolhida</i>	<i>Oposição de alguns grupos ambientais pois tem impacto negativo sobre a vida selvagem</i>
		<i>Ocupa muito espaço e difícil para transportar</i>
Solar	<i>Potencialmente infinito</i>	<i>Pode não ser rentável</i>
	<i>Não produz poluição do ar ou da água</i>	<i>Armazenamento necessário</i>
		<i>Confiabilidade depende da disponibilidade de luz solar</i>
Eólica	<i>É uma fonte livre de energia</i>	<i>Requer quantidades constantes e significativas de vento</i>
	<i>Não produz poluição do ar ou da água</i>	<i>Os parques eólicos requerem quantidades significativas de terra</i>
	<i>Os parques eólicos são caros</i>	<i>Pode ter impacto visual na paisagem</i>
	<i>Terras em torno de fazendas podem ter outros usos</i>	<i>Precisa-se de melhores maneiras de armazenar energia</i>

Fonte: Blaabjerg et al (2014)

Nota-se que estas principais fontes de energia diferem entre si, no que tange vantagens e desvantagens. Estas diferenças impactam diretamente na análise de viabilidade de implementação pois o contexto geográfico/ambiente pode variar.

SÍNTESE

O presente projeto de pesquisa necessita de subsídios teóricos para desenvolver a estrutura sistêmica, que é o principal artefato norteador do processo que envolve a avaliação mercadológica sistêmica do CRG. Os referencias teóricos localizados e estudados serão consultados e utilizados em todo o processo que envolve o entendimento do setor de geração de energia elétrica atual e futuro. Este setor, como pôde ser verificado, está contido em um ambiente muito complexo imerso em tendências, possibilidades tecnológicas, limitações geográficas/ambientais, governos, políticas de incentivo, etc. Sendo assim será utilizada a literatura, principalmente, para o mapeamento das variáveis presentes no setor elétrico presente e futuro (principais elementos de uma estrutura sistêmica).

Evidentemente, todas estas variáveis mapeadas interagem entre si, ou seja, uma impacta na outra, positivamente ou negativamente. Estas relações, muitas vezes, são desconhecidas ou de difícil dimensionamento. Portanto, a estrutura sistêmica, além de considerar as diferentes variáveis também necessitará expor as relações entre as mesmas, que também são evidenciadas pela literatura.

Finalmente, a literatura, em conjunto com entrevistas de especialistas do setor elétrico, contribuirá para o objetivo final do projeto que busca demonstrar a potencialidade mercadológica sistêmica do produto desenvolvido, nominado, CRG. Acredita-se, que, desta forma, o projeto possa considerar diferentes visões teóricas e que, por consequência o entendimento possa ser mais completo e correto.

INTRODUÇÃO

A energia elétrica constitui-se em um recurso indispensável para as atividades humanas desde o início do século XX. O consumo adequado de energia é um desafio das sociedades modernas. Neste sentido, o sistema elétrico vem passando por uma revisão de conceitos balizada nas possibilidades tecnológicas de conversão de energia, telecomunicações, diversificação de fontes de energia e legislação flexível. Estes componentes criam cenários de oportunidades para desenvolvimento de novos conceitos para aplicação no contexto energético (“new energies”).

Combustíveis fósseis, como petróleo, gás natural e carvão mineral, comumente utilizados para a geração de energia, durante as últimas décadas, foram responsáveis pelo avanço da oferta de energia mundial por diversos motivos como: disponibilidade

de tecnologias, reservas mundiais e preço acessível. No entanto, estes combustíveis aceleraram a emissão de gases poluentes na atmosfera e geram custos (externalidades). Além disso, várias pesquisas sinalizam para o fim das reservas finitas destes tipos de combustíveis.

O CRG incorpora tecnologia que permite a energia elétrica ser reaproveitada na rede das concessionárias de energia, emerge sobre este mesmo contexto, pois apresenta funcionalidades específicas inovadoras em um contexto mercadológico desconhecido. Nesta situação necessita-se que o mesmo seja avaliado, quanto a sua viabilidade econômica e suas possíveis inserções. Tal conhecimento é parte vital para o sucesso da aplicação da tecnologia desenvolvida e aplicada neste produto.

Apesar do risco e incerteza ser inerente ao processo decisório, métodos e abordagens de suporte à decisão auxiliam a reduzir os mesmos e, conseqüentemente, os custos de uma decisão equivocada no que tange o lançamento de novas tecnologias no mercado. Isto geralmente é tratado por meio de abordagens e métodos capazes de avaliar os impactos das decisões no tempo e no espaço. Neste sentido, o Pensamento Sistêmico e a Modelagem Dinâmica de Sistemas configuram-se como abordagens capazes de auxiliar na análise mercadológica destes produtos inovadores

O trabalho visa analisar a aplicação do CRG em um contexto de geração de energia por meio de fontes alternativas renováveis (fotovoltaica/biomassa/biocombustíveis), que são abordagens menos danosas ao ambiente, bem como a possibilidade de utilizar armazenamento de energia excedente, conceito conhecido *Peak Shaving*.

Sendo assim, acredita-se que antecipar e prever a difusão de produtos inovadores contribuam positivamente para o resultado do negócio. No que tange as organizações, o ato de antever as potencialidades mercadológicas e a viabilidade econômica, ambiental e social de novos produtos é parte essencial para o sucesso das mesmas. As decisões baseadas neste estudo impactam diretamente no ambiente organizacional no curto, médio e longo prazo, pois se vinculam com processos importantes como: vendas, pós-vendas, quantidade a ser produzida, customização dos produtos, capacidade produtiva, custos internos e externos, entre outros.

Outro ponto de fundamental importância é o cenário projetado para 2020, no qual configura-se para uma elevada demanda em que o consumo energético do brasileiro em 2030 dobrará em relação à atual demanda anual, o que impactará muito a matriz energética nacional.

Neste sentido, são objetivos deste trabalho:

- Avaliar sistemicamente os meios de geração de energia, considerando geração tradicional autogeração;
- Desenvolver um modelo de dinâmica de sistemas para visualização da viabilidade sistêmica do uso combinado de conversores regenerativos de energia elétrica e fontes alternativas de energia para auto geração.

O Sistema Estudado

O Projeto foi concebido para possibilitar o incremento de produção ou a produção de unidades maiores de equipamentos sem a necessidade redimensionar a instalação elétrica existente ou mesmo alterar o plano de fornecimento de energia com a companhia elétrica.

O teste de UPS convencionalmente é realizado ligando-se bancos resistivos na saída dos equipamentos UPS que estão sendo testados. Este procedimento dissipa energia em bancos resistivos e gera um grande desperdício de energia elétrica na forma de calor.

Para garantir a qualidade dos produtos, a Firma AT testa as UPSs com potência nominal durante uma hora para verificar o completo funcionamento e verificar a estabilidade térmica das partes. A perspectiva de aumento da produção de UPS maiores gerou a necessidade de buscar uma alternativa para o processo produtivo. Havia duas possibilidades para esta situação: aumentar a capacidade de energia disponível instalada investindo na instalação elétrica da empresa ou criar um sistema eletrônico regenerativo baseado nas tecnologias dominadas pela Empresa.

Optou-se por desenvolver um sistema eletrônico trifásico regenerativo pois esta atitude está alinhada com a estratégia de sustentabilidade da Schneider Electric. Agrega-se a este benefício também a criação de uma nova solução disponível para um novo mercado a ser explorado. O Projeto foi criado focando-se em dois objetivos principais: imediato e inovação para o mercado. Todos eles estão alinhados com a eficiência energética e diretrizes da Schneider Electric.

O objetivo imediato foi estabelecido para aumentar drasticamente a eficiência energética da produção por meio da regeneração da maior parte da energia empregada no teste e evitar pesados investimentos em infraestrutura.

O segundo objetivo, de inovação mercadológica, visa criar a partir deste Projeto uma nova plataforma de soluções para novos mercados de conversores para geração

distribuída de energia e conversores regenerativos. A plataforma CRG pode ser entendida como uma interface entre uma fonte AC e outra fonte AC, ou seja, pode-se transferir energia de uma fonte AC primária para a rede elétrica usando-se a Green Load como interface controlada que adapta os parâmetros de energia para níveis aceitáveis.

O sucesso interno deste projeto levantou alguns questionamentos na empresa. Tendo em vista que as fontes de energia alternativa possuem picos de geração, assim como consumidores, em especial indústrias, possuem picos de consumo em função de processos utilizados, e que o sistema elétrico necessita de previsibilidade e estabilidade, o CRG pode ser um produto atrativo para o mercado externo? Quais as condições necessárias para viabilizar a geração própria e/ou armazenamento de energia? A empresa deve investir neste produto?

Atualmente, qualidade de energia é um dos fatores críticos de sucesso das distribuidoras, sendo a previsibilidade e estabilidade de geração e demanda alguns dos pontos-chaves para qualidade. Fontes eólicas possuem picos de geração dependentes do vento, enquanto painéis fotovoltaicos dependem de sombras e exposição solar. Os picos de consumo variam de acordo com processos de produção e horário, por exemplo. Neste sentido, sistemas bidirecionais para armazenamento e fornecimento de energia, com a possibilidade de trabalhar *ongrid* e *offgrid* utilizando baterias de alta capacidade pode evitar perdas e sobrecorrentes no sistema elétrico.

Desta forma, o sistema a ser estudado contempla o caso da planta da Schneider Electric em Porto Alegre, considerando os valores de consumo de energia, demanda, as perdas e demais aspectos característicos de uma empresa do ramo eletroeletrônico, onde a energia elétrica representa alto valor nos custos produtivos.

Outro aspecto a ser considerado, é que o sistema proposto é integrado à rede elétrica, podendo utilizar o armazenando energia em bancos de baterias nos instantes em que a geração é abundante. No período de escassez ou nos instantes em que as tarifas sejam desvantajosas, este descarrega na rede elétrica a energia armazenada, também conhecido como Peakshaving. Desta forma, os picos de geração e consumo se tornam invisíveis para a concessionária, tornando o fluxo de energia mais previsível e constante.

Estrutura Sistêmica

O desenvolvimento da estrutura sistêmica foi realizado a partir de três diferentes unidades de apoio: Artigos e livros que abordam o tema (Revisão da literatura), especialista em engenharia em energia e especialista em engenharia de produção. Estes elementos responsabilizam-se pelo acompanhamento desta etapa. Além de subsidiar a pesquisa por meio da troca de informação, estes também se inter-relacionam de forma a adicionar e validar conhecimento.

- Teórico / Literatura – Esta Unidade de apoio foi a ativa na pesquisa. Ela consiste na sistemática pesquisa da literatura realizada na etapa anterior.
- Conhecimento dos Especialistas – O desenvolvimento das relações de causa e efeito tem como fonte de dados, também, especialistas da Área de engenharia de produção e energia. Outra etapa da pesquisa de que os especialistas participam é na validação da estrutura sistêmica.
- Insights do pesquisador – Este elemento tem como função principal a criatividade aliada ao conhecimento teórico além da informação adquirida durante as outras fases do projeto.

A forma como que estas unidades de apoio se relacionaram para o desenvolvimento da versão final da estrutura sistêmica foi a seguinte:

- Apontar as variáveis e relações - Em um primeiro momento, foram levantadas diferentes variáveis ligadas ao assunto focal a partir da literatura. Posteriormente a partir da Unidade de apoio 1, insights dos pesquisadores, também procurou-se entender as relações entre as mesmas.
- Desenvolver a estrutura sistêmica – A partir do levantamento das variáveis bem como de suas inter-relações, os pesquisadores propuseram a primeira estrutura sistêmica. Esta foi animada, para facilitar a leitura no software Power Point. Desta forma a mesma pode ser apresentada para os especialistas.
- Validar – A validação funciona como um processo de verificação do conteúdo desenvolvido, por parte de especialistas. Estes, engenheiros em energia e produção analisaram a estrutura preliminar desenvolvida e contribuíram adicionando variáveis e relações, bem como invalidaram algumas estruturas desenvolvidas. Esta interação entre validação e desenvolvimento da estrutura sistêmica foi realizada cinco vezes, como forma de aprimoramento da estrutura sistêmica proposta. Isto ocorreu porque os especialistas concordaram e não apontaram mais inconsistências na estrutura.

- Aprimorar a estrutura sistêmica – Após a última verificação da estrutura sistêmica, optou-se pelo aprimoramento da mesma, para finalizá-la. Esta estrutura finalizada contribuiu para a próxima etapa que busca desenvolver o modelo conceitual do modelo de dinâmica de sistemas.

A partir das atividades relatadas, adicionando as contribuições das três unidades de apoio, foi possível desenvolver a estrutura sistêmica final, conforme Figure 1. Esta contribuiu para o entendimento acerca do tema. As variáveis importantes e presentes no sistema foram incorporadas a estrutura, assim como suas inter-relações no tempo e no espaço. Desta forma, obteve-se o dimensionamento sistêmico do sistema.

O entendimento sistêmico tem o propósito de auxiliar a empresa a compreender quais os impactos de cada uma das variáveis adicionadas no sistema. Ademais, será possível entender quais variáveis deveriam ser maximizadas ou minimizadas, quando alguma outra variável chave deveria ser alavancada. Por exemplo: Para que a energia renovável, a partir da geração distribuída, seja alavancada e se tornar atrativa frente a energia contratada ou não renovável, devem ocorrer investimentos em pesquisa, obtenção de subsídios ou mesmo a própria consciência ambiental, por parte da população, entre outros.

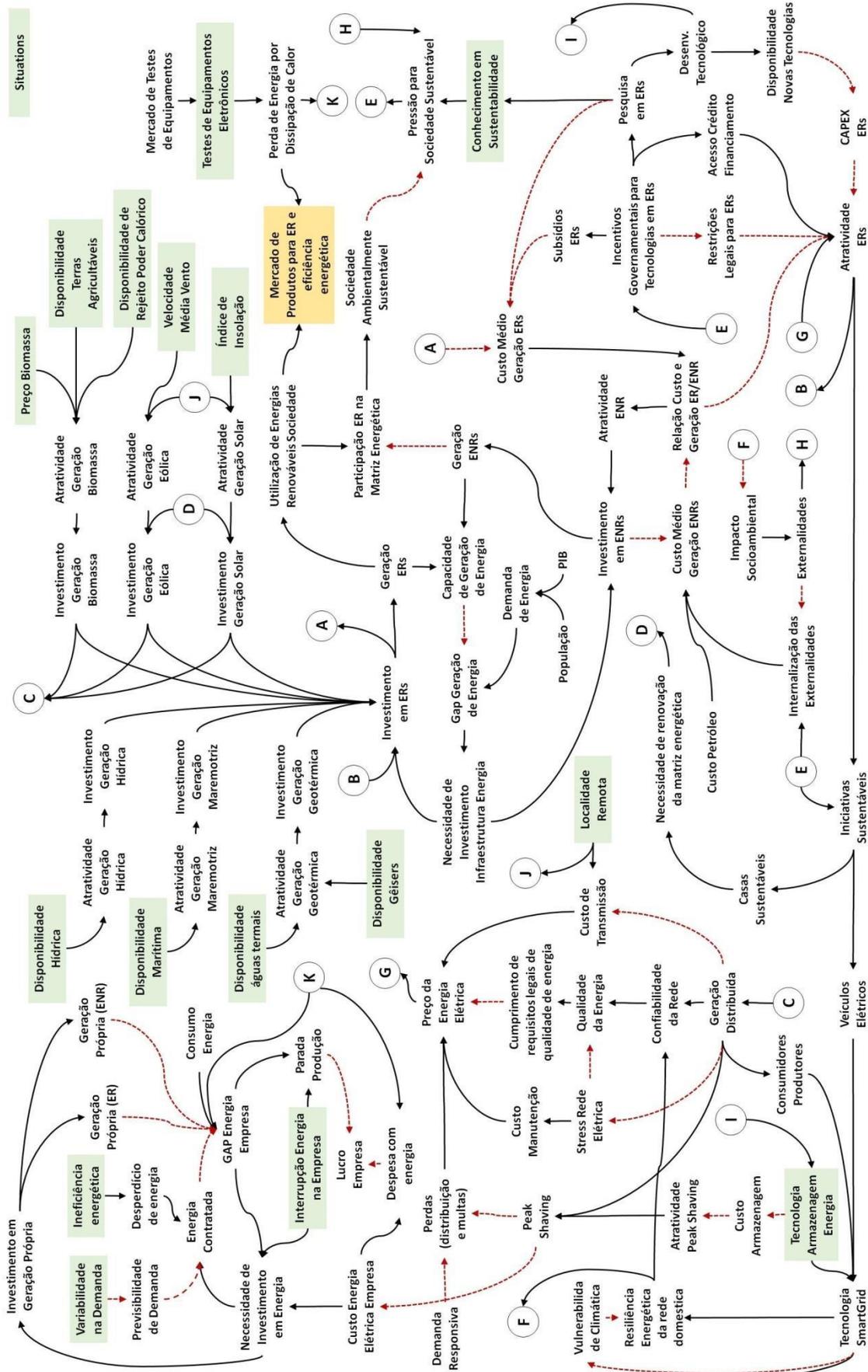
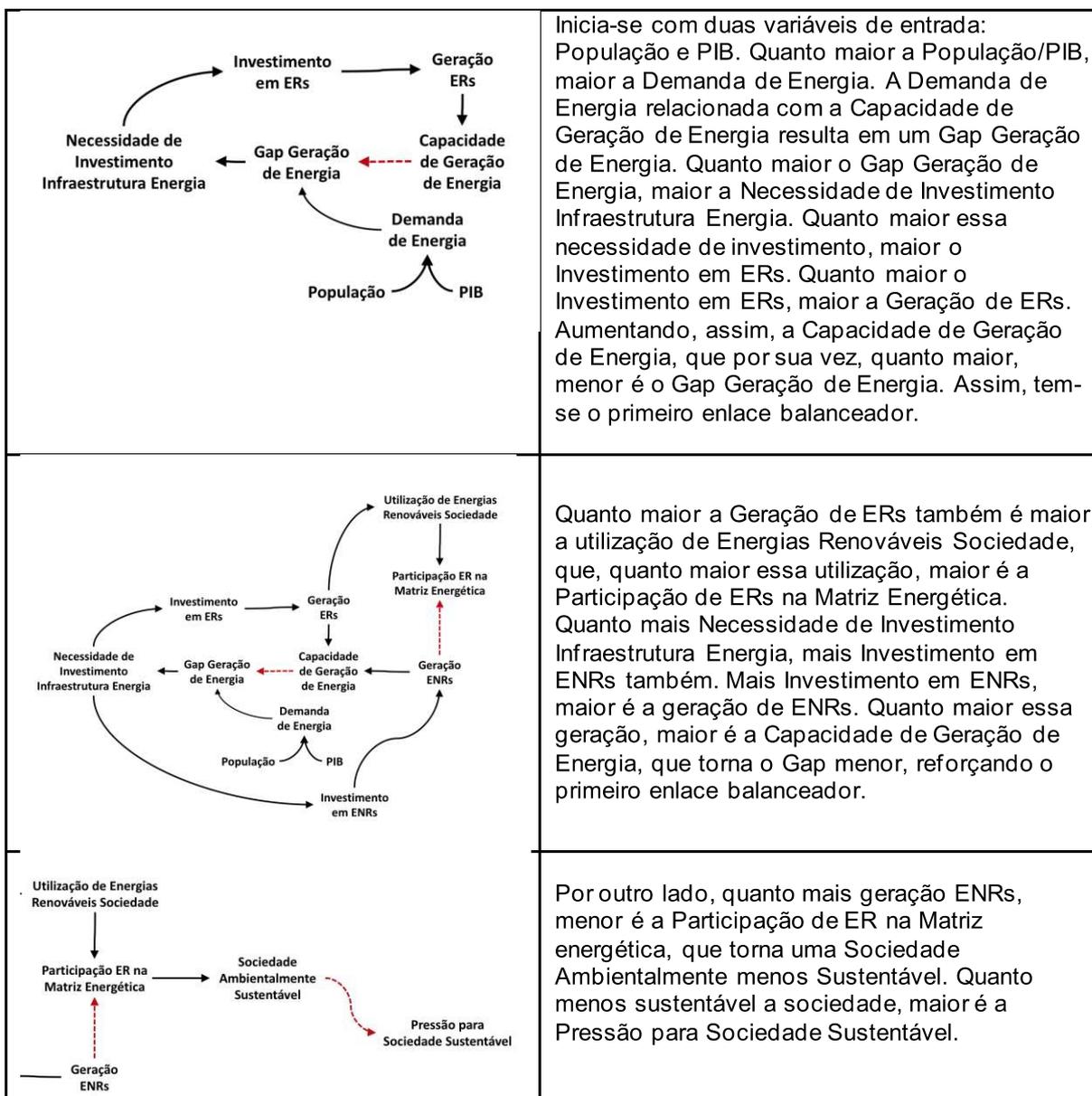


Figure 1 – Estrutura Sistêmica

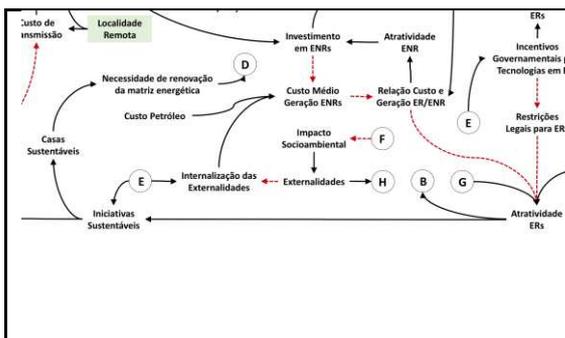
A estrutura sistêmica acima tem o objetivo de gerar um aprendizado geral no que tange o entendimento de mercado da Indústria de energia no Brasil. Buscará-se descrever como a estrutura é lida, de forma que todas as conexões e enlaces possam ser compreendidos mais facilmente.



<p>Mercado de Testes de Equipamentos</p> <p>↓</p> <p>Testes de Equipamentos Eletrônicos</p> <p>↓</p> <p>Perda de Energia por Dissipação de Calor</p> <p>↙ ↘</p> <p>Mercado de Produtos para ER e eficiência energética</p>	<p>Quanto maior a Utilização de Energias Renováveis na Sociedade, maior o Mercado de Produtos para ER. Quanto maior esse mercado, maior também o segmento de Mercado de Testes de Equipamentos. Quanto maior o segmento de Equipamentos, maior o número de Testes de Equipamentos Eletrônicos. Mais testes, mais Perda de Energia por Dissipação de Calor. Quanto maior perda por dissipação, maior o tamanho do Mercado de Produtos para ER.</p>
<p>Preço Biomassa</p> <p>Disponibilidade Terras Agricultáveis</p> <p>Disponibilidade de Rejeito Poder Calórico</p> <p>Velocidade Média Vento</p> <p>Índice de Insolação</p> <p>Mercado de Produtos para ER e eficiência energética</p> <p>Sociedade Ambientalmente Sustentável</p> <p>Participação ER na Matriz Energética</p> <p>Utilização de Energias Renováveis Sociedade</p> <p>Atratividade Geração Biomassa</p> <p>Atratividade Geração Eólica</p> <p>Atratividade Geração Solar</p> <p>Investimento Geração Biomassa</p> <p>Investimento Geração Eólica</p> <p>Investimento Geração Solar</p> <p>Investimento em ERs</p> <p>Geração ERs</p> <p>Disponibilidade Hídrica</p> <p>Atratividade Geração Hídrica</p> <p>Investimento Geração Hídrica</p> <p>Disponibilidade Marítima</p> <p>Atratividade Geração Maremotriz</p> <p>Investimento Geração Maremotriz</p> <p>Disponibilidade águas termais</p> <p>Atratividade Geração Geotérmica</p> <p>Investimento Geração Geotérmica</p> <p>Disponibilidade Geisers</p>	<p>Quanto mais Disponibilidade Hídrica, maior a atratividade de Geração de Energia Hídrica. Quanto mais atratividade, mais Investimento em Geração Hídrica. Maior investimento em Geração Hídrica, maior é o Investimento em ERs de maneira geral.</p> <p>Quanto mais Disponibilidade Marítima, maior a atratividade de Geração de Energia Maremotriz. Quanto mais atratividade, mais Investimento em Geração Maremotriz. Maior investimento em Geração Maremotriz, maior é o Investimento em ERs de maneira geral.</p> <p>Quanto mais Disponibilidade de Águas Termais e/ou de Geisers, maior a atratividade de Geração de Energia Geotérmica. Quanto mais atratividade, mais Investimento em Geração Geotérmica. Maior investimento em Geração Geotérmica, maior é o Investimento em ERs de maneira geral.</p> <p>Quanto mais Disponibilidade de Terras Agricultáveis e/ou de Rejeito Poder Calórico e/ou maior o Preço Biomassa, maior a atratividade de Geração de Energia Biomassa. Quanto mais atratividade, mais Investimento em Geração Biomassa. Maior investimento em Geração Biomassa, maior é o Investimento em ERs de maneira geral.</p> <p>Quanto maior a Velocidade Média do Vento, maior a atratividade de Geração de Energia Eólica. Quanto mais atratividade, mais Investimento em Geração Eólica. Maior investimento em Geração Eólica, maior é o Investimento em ERs de maneira geral.</p> <p>Quanto maior o Índice de Insolação, maior a atratividade de Geração de Energia Solar. Quanto mais atratividade, mais Investimento em Geração Solar. Maior investimento em Geração Solar, maior é o Investimento em ERs de maneira geral.</p>

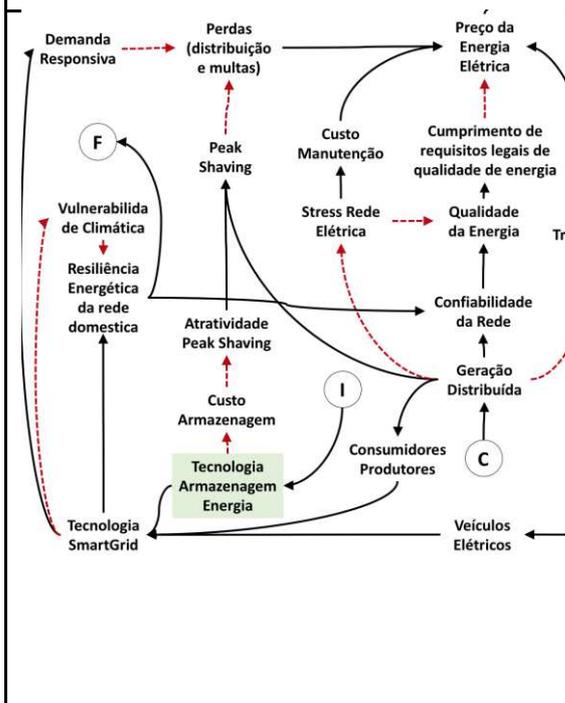
	<p>Com mais Investimento em ERs, menor o Custo Médio de Geração ERs. Quanto menor esse custo, maior a Relação Custo e Geração ENR/ER. Quanto maior essa relação, maior é a Atratividade ENR. Quanto mais atratividade, maior será o investimento em ENR.</p>
	<p>Quanto mais Pressão para uma Sociedade Sustentável, mais incentivos Governamentais para Tecnologias em ERs. Quanto mais incentivos do governo, mais subsídios para ERs. Quanto maior o Subsídio, menor é o custo médio de Geração ERs. Também, quanto mais incentivos governamentais, menos serão as restrições legais para implantação de ERs. Quanto menos Restrições, mais Atratividade ERs. Ainda, quanto mais incentivos governamentais, mais acesso de Crédito para Financiamento se dará, que culmina em mais Atratividade ERs. Por fim, quanto mais incentivos do governo, maior será o investimento em Pesquisa em ERs, que diminuirá o Custo Médio de Geração ERs. Com o aumento do investimento em Pesquisa em ERs, a sociedade passa a ter maior conhecimento em Sustentabilidade de maneira geral. Que aumenta ainda mais a pressão para uma sociedade sustentável.</p>
	<p>Pesquisa em ERs fomenta o Desenvolvimento Tecnológico, que quanto maior, maior será a Disponibilidade de Novas Tecnologias. Quanto mais disponibilidade de Novas Tecnologias, menor o CAPEX ERs. Quanto menor o CAPEX ERs, maior a Atratividade ERs.</p>
	<p>Mais atratividade ERs resulta em mais Investimento em ERs e também em mais Iniciativas Sustentáveis. Maior iniciativa, maior é o número de Carros Elétricos e Casas Sustentáveis. Quanto mais casas sustentáveis, mais necessidade de renovação da matriz energética. Quanto maior essa necessidade, maior será o investimento em Geração Eólica e/ou Solar.</p>

<p>Diagram illustrating the relationship between distributed generation and electricity price. It shows a vertical flow from 'Geração Distribuída' (C) at the bottom to 'Preço da Energia Elétrica' (G) at the top. The flow includes 'Confiabilidade da Rede', 'Qualidade da Energia', and 'Cumprimento de requisitos legais de qualidade de energia'. A green box labeled 'Dis' is next to 'G'.</p>	<p>Quanto mais investimento em Geração Biomassa e/ou Eólica e/ou Solar, maior a geração distribuída. Quanto mais geração distribuída, maior é a Confiabilidade da Rede. Mais confiabilidade da Rede, mais Qualidade da Energia. Quanto mais qualidade de energia, mais cumprimentos de requisitos legais de qualidade de energia. Quanto mais atendimento a esses cumprimentos, menor será o Preço da Energia Elétrica. Quanto Menor o preço, maior será a atratividade ER.</p>
<p>Diagram illustrating the relationship between distributed generation, electricity price, and transmission costs. It shows a complex flow involving 'Geração Distribuída' (C), 'Preço da Energia Elétrica' (G), 'Custo de Transmissão', 'Stress Rede Elétrica', 'Qualidade da Energia', and 'Cumprimento de requisitos legais de qualidade de energia'. Includes labels 'Disponibilic Géisers', 'Infr', and 'Casas Sustentáveis'.</p>	<p>Quanto mais geração distribuída, menor serão os Custos de Transmissão. Quanto mais remota for a localidade de instalação, maior serão os Custos de Transmissão. Ainda, quanto mais remota for a localização, maior será a atratividade de Geração Eólica e Solar. Quanto maior o Custo de Transmissão, maior será o Preço da Energia Elétrica.</p> <p>Quanto mais Geração Distribuída, menor será o Stress da Rede Elétrica que resulta em mais Qualidade da Energia e menos Custos de Manutenção. Quanto menor forem os Custos de Manutenção, menor será o Preço da Energia Elétrica.</p>
<p>Diagram illustrating the relationship between distributed generation, smart grid technology, and energy resilience. It shows a flow from 'Geração Distribuída' (C) to 'Resiliência Energética da rede doméstica' and 'Tecnologia SmartGrid'. Includes labels 'Vulnerabilidade de Climática', 'Stress Rede Elétrica', 'Qualidade da Energia', 'Confiabilidade da Rede', 'Consumidores Produtores', and 'Veículos Elétricos'.</p>	<p>O aumento da Geração Distribuída contribui para o aumento do número de Consumidores Produtores. Quanto mais Consumidores Produtores e mais Carros Elétricos, maior a utilização de Tecnologia SmartGrid. Quanto mais Tecnologia SmartGrid, menos variabilidade da Rede Elétrica, mais Resiliência Energética e menos Vulnerabilidade Climática, que também trás mais Resiliência Energética.</p> <p>Maior a Resiliência Energética, maior será a Confiabilidade da Rede. Quanto mais Resiliência, menos Impacto Socioambiental. Quanto menos impacto, menos Externalidades. Quanto menos Externalidades, menos Pressão para Sociedade Sustentável.</p>



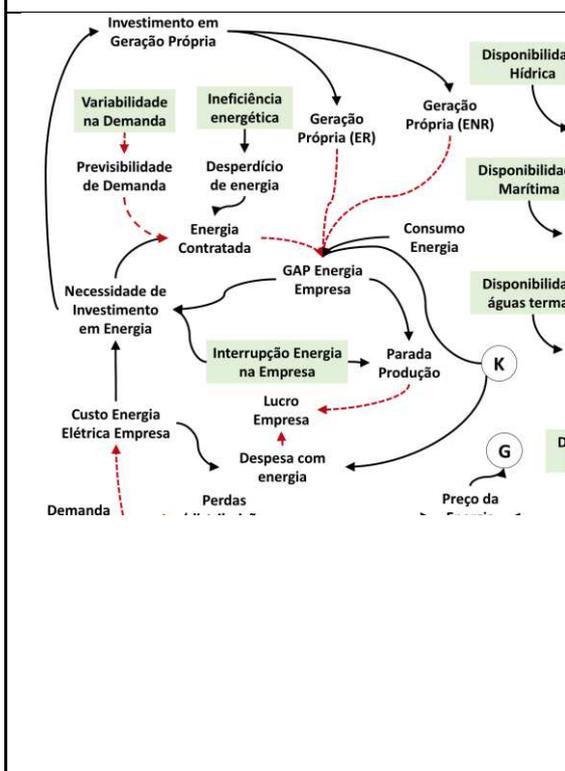
Por outro lado, quanto mais Externalidades, menor será a quantidade de Internalização de Externalidades que são afetadas pela Pressão para uma Sociedade sustentável.

Quanto mais internalização das externalidades e maior o custo do Petróleo, maior será o Custo Geração Média de ENRs. Quanto maior esse custo, menor a relação ENR/ER. E, portanto, maior atratividade ERs.



O desenvolvimento tecnológico fomenta o uso de tecnologia de armazenagem de energia. Que este, quanto maior, maior será também o uso de Tecnologia SmartGrid. Quanto mais SmartGrid, mais Demanda Responsiva. Quanto mais demanda responsiva, menos perdas em relação a distribuição e multas serão aplicadas. Quanto menos multas, menor será o Preço da Energia Elétrica.

Quanto mais tecnologia de armazenagem, menor o custo para armazenagem. Quanto menor esse custo, maior será a atratividade Peak Shaving. Quanto mais atratividade Peak Shaving, mais Peak Shaving será implantado. Quanto mais Peak Shaving, menos Perdas. A Geração distribuída por si só fomenta o uso do Peak Shaving. Quanto maior o uso do Peak Shaving, menor o Custo de Energia Elétrica Empresa. Quanto menor esse custo, menor a necessidade de investimento em Energia. Quanto menos necessidade de investimento, menos energia contratada.



Quanto maior o Índice de Variabilidade da Demanda, menor a Previsibilidade de Demanda. Quanto menos previsibilidade, maior a quantidade de Energia Contratada. Quanto maior o índice de Ineficiência energética, maior será o desperdício de energia, que trata maior quantidade de energia contratada. A Energia Contratada em comparação com a Utilização de Energia da Empresa, resulta no Gap Energia Empresa. Quanto maior o Gap, maior a necessidade de investimento em energia. Quanto mais investimento em energia, maior será o investimento em geração própria. Quanto maior esse investimento, maior será a geração própria. Tanto para ER como para ENR. Quanto maior a soma dessas gerações, menor será o Gap de Energia da Empresa. Quanto menos Gap, menos parada de produção. Quanto maior o índice de Interrupção de Energia na Empresa, mais ele contribui para a Necessidade de Investimento em Energia. Por outro lado, quanto menor for esse índice, menor serão também os intervalos de parada de produção. Por fim, quanto menos parada de produção, maior será o Lucro Empresa.

MODELO DINÂMICO

O modelo conceitual se torna necessário, uma vez que, enquanto estrutura sistêmica, tudo está em uma forma não estruturada para o desenvolvimento do modelo de dinâmica de sistemas. Além disso, o modelo abrange, algumas partes do modelo, pois algumas relações não estão diretamente ligadas ao objetivo do modelo ou sua relação subjetiva não permite o dimensionamento do impacto entre as variáveis.

Portando, o que teve que ser desenvolvido é um refinamento desta estrutura sistêmica com o objetivo de adicionar detalhes, no que tange as partes relevantes, as quais estarão presentes e como isto pode ser implementado na sintaxe admitida pelo software itthink. Este refinamento é chamado de modelagem conceitual.

Em resumo, consolida-se todas as partes, bem como, relacionamento, das partes relevantes em um formato consistente. O modelo conceitual deve ser capaz de comunicar o que será implementado de uma maneira clara. Normalmente esta fase é utilizada como ponte entre a descrição inicial do sistema analisado e o simulador que será efetivamente utilizado na experimentação de cenários e posteriormente gerar aprendizado para o dimensionamento mercadológico do produto CRG.

Vale ressaltar que se nominou energia contratada, em vez de contratação de energia não renovável, uma vez que alguns países, como Brasil, a energia contratada é predominantemente renovável.

O modelo se inicia definindo um sistema analisado. Este sistema necessita de energia para o funcionamento do mesmo para prover produtos ou serviços para a demanda que inerentemente contém variabilidade. Este sistema analisado pode ser uma empresa particular, ou mesmo um sistema energético particular referente a área de atuação de uma concessionária. Este sistema opta por gerar energia ou contratar energia do mercado externo.

Uma vez que o sistema opte pela contratação de energia externa, assume-se a possibilidade de ineficiência e perda de qualidade de energia, além disso o sistema fica sujeito a falta de energia, uma vez que esta deve passar por um sistema logístico instável de entrega de energia. Em outras palavras, o sistema logístico pode não ter alto nível de confiabilidade e fica sujeito a impactos externos o que causaria a falta de energia no sistema alimentado. Este tipo de consequência pode fazer com que o

sistema não possa entregar o produto ou serviço para o cliente, gerando perdas ou deixando de gerar ganho.

Por outro lado, este sistema pode gerar energia a partir da geração distribuída com fontes de energias renováveis. Este poderia ser o ponto para o CRG ser acoplado, conforme especialistas. Este tipo de sistema pode ser útil para o sistema, pois pode acrescentar um sistema tecnologias como *peak shaving*. Este tipo de tecnologia, na prática, utiliza um banco de baterias que funcionam como um “estoque de energia” que amortece problemas relativos à variabilidade da demanda, assim como, problemas de falta de energia. Vale ressaltar que a qualidade da energia também é melhorada, pois aumenta-se a confiabilidade de fornecimento. Esta tecnologia está diretamente ligada com a utilização do produto CRG.

Ressalta-se que o sistema pode optar por um sistema híbrido e além disso pode optar pela venda de energia gerada, garantindo assim, a otimização do sistema analisado, frente ao ambiente externo inerentemente dinâmico.

O sistema analisado interage com várias outras grandes estruturas externas, como governo, ciência e tecnologia, recursos naturais e sociedade. Cada um destes entes participa desta dinâmica de atratividade de energia gerada de maneira distribuída ou contratação de energia tradicional. Vale ressaltar que estas estruturas também interagem constantemente entre si.

O governo atua como um mediador na viabilidade de cada uma das alternativas. Este pode conceder incentivos, seja como forma de pesquisa, ou subsídio para alavancar fontes de energia, uma vez que o sistema energético é um recurso estratégico para o planejamento de longo prazo do país.

Ciência e tecnologias são estruturas evolucionárias que podem garantir o avanço da sociedade. Estes alavancam a atratividade de diferentes tecnologias, diminuindo o custo de tecnologias, apresentando informações relevantes a partir de experimentação, entre outros.

Os recursos naturais estão na base de um sistema energético renovável. Cada país, ou ambiente tem como aspecto condicionante principal a existência ou não de recursos naturais que fazem com que a atratividade da energia renovável seja aumentada. Estes recursos podem ser disponibilidade de insolação, ventos, mar, rejeitos, etc.

Por fim, existe a sociedade, que atualmente clama por um sistema sustentável. Esta sociedade atua de diferentes formas, sendo um meio gerador de impressões e pressões para que algumas políticas sejam iniciadas

Sendo assim, o Sistema analisado interage com diferentes estruturas externas. O modelo conceitual desenvolvido buscou apresentar de maneira clara quais serão os principais pontos abordados no modelo conceitual. Busca-se ao final verificar a diferença entre sistemas que interagem naturalmente frente a diferentes cenários e políticas atuais, demonstrando o GAP entre estas duas opções.

O modelo foi desenvolvido no software iThink 10.0.3, estruturado em 3 módulos principais. O primeiro módulo representa as características e variações do **Ambiente Externo** (Figure 2). O ambiente externo é caracterizado pela variação da Oferta de Energia Elétrica versus a variação da Demanda de Energia Elétrica. Neste caso, se a demanda for maior que a oferta, será necessário fazer uso de fontes mais caras de energia, fazendo com o que governo utilize tarifas com valores mais elevados. Para representar esta dinâmica foi elaborado um Fator de Oferta, que altera o valor de acordo com o gap entre oferta e demanda. Ao final deste módulo, os custos de compra são comparados com os custos de geração interna, indicando um percentual a ser gerado internamente, se assim for definido pela empresa.

O módulo **Dinâmica Interna** (Figure 3) representa a dinâmica do fluxo de energia da empresa Schneider Electric Porto Alegre. A partir de uma previsão de demanda interna de energia elétrica, são apurados os valores reais, bem como o total a ser gerado internamente. Este balanço é fechado complementando com a quantidade de energia que a empresa pode contratar, tanto com tarifa norma quanto tarifa especial. A energia pode ser utilizada ou desperdiçada. Caso tenha algum excedente de energia, existe a possibilidade de venda ou armazenagem em banco de baterias. As perdas técnicas têm são influenciadas pelo uso do CRG e pelo armazenamento, visto que o primeiro recupera a energia e o segundo elimina a variabilidade.

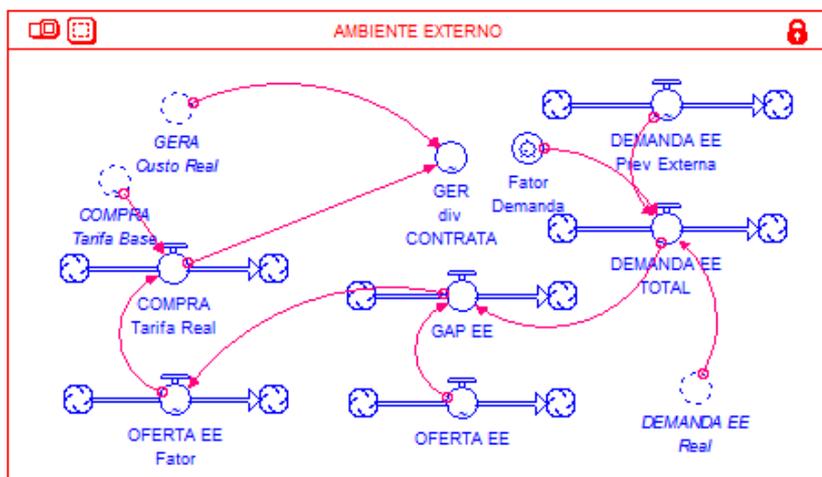


Figure 2 – módulo do ambiente externo

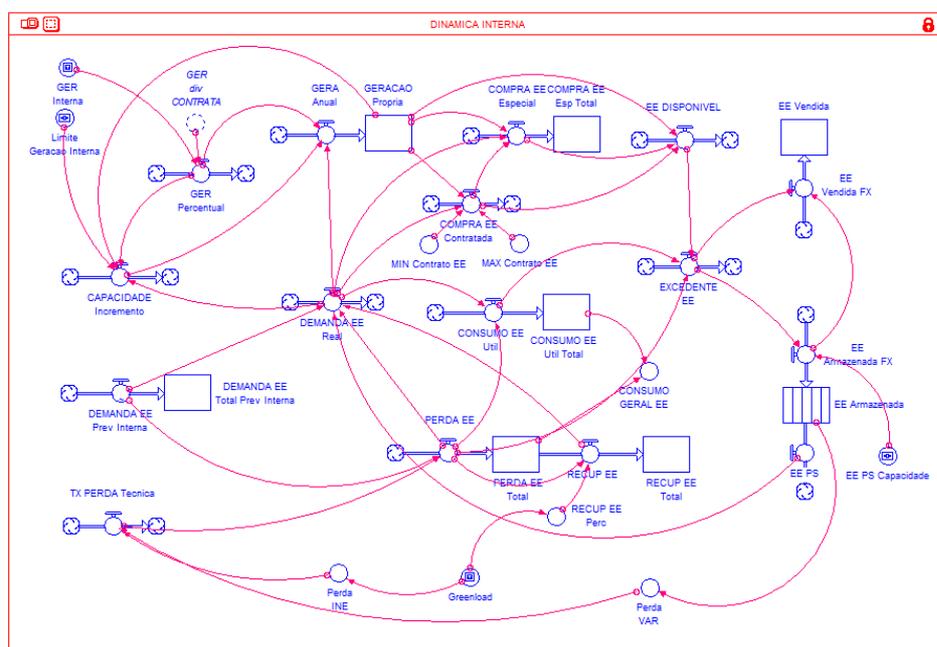


Figure 3 – modelo da dinâmica interna

O módulo **Financeiro** faz um resumo das despesas com energia elétrica, considerando todas as interligações e variações apresentadas nos dois módulos anteriores. Por exemplo, caso a empresa opte por usar o CRG, serão computados o CAPEX do equipamento, bem como o impacto da eliminação da perda técnica no consumo de energia, refletindo nas despesas finais ao longo do tempo.

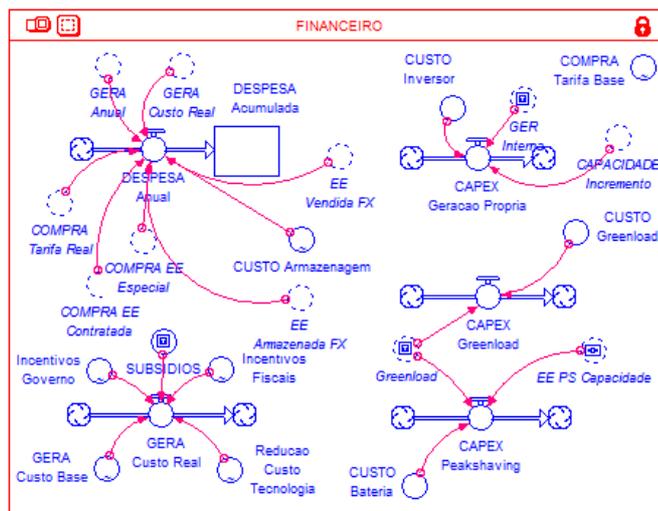


Figure 4 – módulo financeiro

ANÁLISE DO SISTEMA

Para a análise do sistema, são avaliados 4 cenários, variando os seguintes fatores:

- **Demanda vs Oferta:** Caso a demanda seja maior que a oferta, a tendência é de elevação do custo da energia, tendo em vista a utilização de fontes mais caras para suprir a necessidade, bem como aumento da tarifa para reduzir o consumo.
- **Geração Interna:** A geração interna possibilita produzir energia na empresa, por meio de fontes alternativas. Neste caso, a demanda real de energia da empresa tende a reduzir, visto que a necessidade pode ser suprida por meio de geração própria. Isto pode levar a diminuir a necessidade de compra de energia com tarifa especial, fora da demanda contratada.
- **CRG:** O uso do CRG diminui as perdas técnicas, por reinjeta a energia, bem como reduz as perdas por variabilidade do sistema, pois tem seu uso associado a um banco de baterias, onde é possível o armazenamento e suprimento quando for necessário.
- **Subsídios:** Ao considerar subsídios e incentivos governamentais, considera-se a premissa de o custo de geração irá reduzir. Isto deve-se ao fato da redução de impostos e apoio a projetos de desenvolvimento de tecnologias.

Os cenários foram compostos da seguinte forma:

Cenários	Características
Cenário 1)	Demanda =< Oferta Sem Geração interna Sem CRG Sem Subsídios;
Cenário 2)	Demanda =< Oferta Com Geração interna Com CRG Com Subsídios
Cenário 3)	Demanda > Oferta Sem Geração interna Sem CRG Sem Subsídios;
Cenário 4)	Demanda > Oferta Com Geração interna Com CRG Com Subsídios

A unidades utilizadas no modelo foram MegaWatt (MW) para energia, seja demanda, oferta ou capacidade de armazenamento, e os valores monetários em Reais (R\$). O horizonte para avaliação do modelo é de 20 anos, sendo que os valores de referência internos foram obtidos na empresa, e os valores externos estimados a partir de consulta aos relatórios de estudos de planejamento energético feita pelo Tribunal de Contas da União – TCU ao Ministério de Minas e Energia (MME) e encaminhada à Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Inicialmente, destaca-se o desempenho financeiro dos 4 cenários,

CENÁRIOS	DESPESA Acumulada	CAPEX	Retorno sobre o Investimento
Cenário 1	3.782.841,75	-	-
Cenário 2	2.806.402,51	862.631,24	1,13 <i>(comparado ao cenário 1)</i>
Cenário 3	7.397.032,96	-	-
Cenário 4	4.051.458,65	1.486.154,71	2,25 <i>(comparado ao cenário 3)</i>

Nos cenários onde a Demanda =< Oferta (1 e 2), os resultados do modelo indicam pequena diferença sob o ponto de vista financeiro. Isto se deve ao fato de que nestas condições, onde há excesso de energia, a diferença do custo entre energia comprada e energia gerada não é muito significativa, mesmo considerando os subsídios do governo. Ou seja, os benefícios da auto geração, uso da CRG e Armazenamento de Energia podem não ser tão atrativos no contexto de ampla oferta

(ou baixo consumo), visto que investimento é recuperado somente ao final horizonte analisado (20 anos).

Entretanto, nos cenários 3 e 4 (Demanda > Oferta) o impacto da adoção da geração própria é mais evidente. Comparando com o cenário 3, o cenário 4 apresenta significativa diferença entre as despesas com energia elétrica. E apesar do CAPEX ser mais elevado entre todos os cenários, a redução dos custos em virtude das possibilidades de auto geração, armazenamento, impacto nas perdas técnicas e venda de energia excedente permite vislumbrar um cenário atrativo, caso se confirme um contexto de elevação da demanda de energia. É importante ressaltar que alguns estudos indicaram que a demanda de energia aumentará aproximadamente 40% no Brasil até 2030. O cenário 4 considerou um aumento de 30% em 20 anos.

Outra análise importante é feita sob a ótica das perdas, aspecto revelante quando se considera o uso sustentável dos recursos, conforme apresentado abaixo:

CENÁRIO	Perda acumulada em MW
CENÁRIO 1	1.243,5
CENÁRIO 2	347,1
CENÁRIO 3	1.191,7
CENÁRIO 4	171,7

No cenário 1 apresenta alto valor em perdas de energia. Estas perdas ocorrem em virtude da eficiência do processo produtivo e da variabilidade do fornecimento de energia. Algo que se repete no cenário 3. Por outro lado, ao optar pela recuperação e armazenagem de energia, os cenários 2 e 4 apresentam uma grande redução das perdas de energia. Ou seja, além do aspecto financeiro apresentado, a empresa deixa de desperdiçar energia, o que pode contribuir para a redução da demanda global, e que em grande escala, pode impactar na redução dos custos de energia contratada.

Embora tenha sido destacado os aspectos considerados mais importantes pelos autores e empresa (financeiro e perdas), os dados obtidos permitem outras avaliações, tais como analisar o contrato de fornecimento de energia a partir da avaliação energia contratada fora e dentro do horários de pico, podendo negociar um contrato mais vantajoso com a concessionária de energia elétrica.

APÊNDICE C - EQUAÇÕES DO MDAEE

INÍCIO DO CÓDIGO

```

{ VERSION 1.0.3 }

{ INITIALIZATION EQUATIONS }
: s Consumoldeal = 0
: c ConsumoMes = 17159
: c ConsumoAno = ConsumoMes*12/1000
: c TxEfEne = 0.7
: c PanMacroEnergetico = 1
: c PIB = IF PanMacroEnergetico = 1 THEN 0 ELSE IF PanMacroEnergetico = 2 THEN 0.015
ELSE 0.030 { 1 3 }
: c txAumentoP = IF TIME < 1 THEN 0 ELSE PIB
: f IncConsumo = IF TIME = 0 THEN ConsumoAno*TXEfEne ELSE
txAumentoP*Consumoldeal
: c AEE = 0 { 0 SGE = 0 CRG = 0 1 SGE = 1 CRG = 0 2 SGE = 0 CRG = 1 3 SGE = 1 CRG
= 1 }
: c SGE = IF AEE=1 OR AEE=3 THEN 1 ELSE 0
: c AmbienteMGD = 1
: c SCE = IF AmbienteMGD = 3 THEN 1 ELSE IF AmbienteMGD = 2 THEN 2 ELSE 3
: c ParDistr = 0.0345
: c MGDGlobCapP = TIME
: c AtratividadeMGD = AmbienteMGD+PanMacroEnergetico
: f EnTMGD = (AtratividadeMGD)*MGDGlobCapP*ParDistr*1.35
: s EnergiaTDist = 6000
: f GapMGD = MAX (EnergiaTDist-EnTMGD, 1)
: s IRTacum = 0
: c IRT = MAX(IRTacum, 1)
: c TUSDIni = 202
: c CustoUSD = EnergiaTDist*TUSDIni*IRT
: f TUSDajustado = CustoUSD/GapMGD
: c Carencia = 10
: c TUSD = IF SCE = 3 THEN TUSDIni ELSE IF SCE = 2 AND TIME > (Carencia) THEN
HISTORY(TUSDajustado, Carencia) ELSE HISTORY(TUSDajustado, TIME)
: c BTar = IF PanMacroEnergetico = 1 THEN 0 ELSE IF PanMacroEnergetico = 2 THEN 15
ELSE 60 { 1 = VERDE 2 = AMARELA 3 = VERMELHA 2 }
: c TEini = 200
: c TE = TEini+BTAR
: c ModTarifa = 1 { 0=BT 1=AT verde a4}

```

```

: c ICMS = IF ModTarifa=0 THEN 0.30 ELSE 0.18
: c PIS = IF ModTarifa=0 THEN 0.0093 ELSE 0.011899
: c COFINS = IF ModTarifa=0 THEN 0.0438 ELSE 0.053004
: c ImpostoF = ICMS+PIS+COFINS
: f VFTarifaEnergia = {IF TIME = 0 THEN 0 ELSE} (TE+TUSD)*(1+ImpostoF)*IRT
: f cpxSGE = IF TIME = 0 THEN ConsumoMes/1000*VFTarifaEnergia*6*SGE ELSE 0
: c Subsidio = IF AmbienteMGD = 3 THEN 0.150 ELSE IF AmbienteMGD = 2 THEN 0.075
ELSE 0
: c SubsidioTx = Subsidio
: c CRGcusto = 2000*(1-SubsidioTx)
: c CRG = IF AEE=2 OR AEE=3 THEN 1 ELSE 0
: c DemM = ConsumoMes/200 { P(kW) = E(kWh) / t(h) 200h/mês de jornada (9x21) }
: f cpxCRG = IF TIME = 0 THEN CRGcusto*DemM*0.5*CRG ELSE 0
: c MGD = 0
: c MGDcap = MGD
: c MGDcusto = 6400*(1-SubsidioTx)
: f cpxMDG = IF MGDcap=0 THEN 0 ELSE IF TIME = 0 THEN MGDcusto*(MGDcap^-
0.075)*MGDcap ELSE 0
: c ConsumoDia = ConsumoAno/260*1000
: c txCP = 0.05546
: c SAE = 0
: c SAEcap = (ConsumoDia*(txCP)/0.5)*SAE
: c SAEcusto = (3260+1000)*(1-SubsidioTx)
: f cpxSAE = IF TIME = 0 THEN SAEcusto*SAEcap else 0
: f cpxAno = cpxMDG+cpxCRG+cpxSAE+cpxSGE
: f cpxD = IF TIME <1 THEN 0 ELSE (HISTORY(cpxAno, 0)/20)
: f RenBateria = PULSE(0.25, 1, 5)
: f DegBateria = 0.05
: s EfPainel = 1
: f DegPainel = EfPainel*0.01
: c TxPerdaQuali = IF CRG=0 THEN 0.05 ELSE 0
: c TxPerdaDisp = IF SAE = 0 THEN 0.05 ELSE 0 { IF SAE = 0 THEN 0.05 ELSE 0 0.05-
(Armazenagem/200)}
: c outrasperdas = 0.15
: c TxPerdaSGE = IF SGE=0 THEN 0.05 ELSE 0
: f TxPerdaTotal = TxPerdaQuali + TxPerdaDisp + txPerdaSGE + outrasperdas
: f EnPerda = (Consumoldeal/0.7)*TxPerdaTotal
: c TxRecuperacao = IF CRG = 0 THEN 0 ELSE 0.2
: f EnRecup = EnPerda*TxRecuperacao
: f EnConsumida = Consumoldeal+EnPerda-EnRecup

```

```

: f EnIncDist = EnergiaTDist*txAumentoP
: s MGDgerT = 0
: c txSim = 5/7
: f EnMGDSim = MGDgerT*txSim
: c TarifaMinima = IF TIME = 0 THEN 0 ELSE IF ModTarifa=0 THEN 1.2 ELSE 0
: f EnMGDnSim = MGDgerT*(1-txSim)
: f EnComprada = MAX(EnConsumida-EnMGDsim-EnMGDnSim, TarifaMinima)
: f EnDisponivel = EnComprada+EnMGDsim+EnMGDnSim
: f EnExcedente = EnDisponivel-EnConsumida
: c ACL = 0
: s EnSaldo = 0
: f EnVendfx = IF ACL = 0 THEN 0 ELSE EnSaldo
: c IPCA = IF PanMacroEnergetico = 1 THEN 0.02 ELSE IF PanMacroEnergetico = 2 THEN
0.04 ELSE 0.06
: c RTP = IF PanMacroEnergetico = 1 THEN PULSE(0, 4, 4) ELSE IF PanMacroEnergetico =
2 THEN PULSE(0.075, 4, 4) ELSE PULSE(0.15, 4, 4)
: c CDE = IF PanMacroEnergetico = 1 THEN 0 ELSE IF PanMacroEnergetico = 2 THEN 0.01
ELSE 0.02 { CUSTO DO DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO 0 1 2 }
: f RTA = IF TIME = 0 THEN 1 ELSE IRTacum*(IPCA+CDE+RTP) { IF TIME = 0 THEN 0
ELSE IF TIME = 1 THEN 1 ELSE IRTacum*(IPCA+CDE+RTP) }
: c kWpMWhano = 1.391 { POA 1.391 GVT 1.382 }
: c QFornecimento = 0.99
: f MGDger = MGDcap*EfPainel*kWpMWhano*QFornecimento
: f MGDUtilizada = MGDgerT
: c txManut = 0.015
: f opxMGD = IF TIME = 0 THEN 0 ELSE IF MGDcap=0 THEN 0 ELSE
MGDcusto*(MGDcap^-0.075)*MGDcap*txManut
: f opxCRG = IF TIME = 0 THEN 0 ELSE
ConsumoAno*TxPerdaTotal*CRG*CRGcusto*txManut
: c IncentivoFiscal = IF AmbienteMGD = 3 THEN 0 ELSE IF AmbienteMGD = 2 AND TIME <
(Carencia+2) THEN 0 ELSE 1
: s EfBaterias = 0.85
: f EnInjetada = EnMGDnSim-(SAEcap*EfBaterias*0.365)
: c dICMS = EnInjetada*ICMS*IncentivoFiscal + EnInjetada*(PIS+COFINS)
: c FA = 1/4
: c SAEano = SAEcap*0.365*EfBaterias
: f fxConsumoPonta = (EnConsumida*txCP) - (SAEano*FA)
: c ConsumoPonta = fxConsumoPonta
: f opxEUSD = IF TIME = 0 THEN 0 ELSE IF SCE = 3 THEN
(EnConsumida*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT) + (ConsumoPonta*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT)*4 ELSE IF

```

```

SCE = 2 AND TIME > (Carencia) THEN (EnConsumida*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT) +
(ConsumoPonta*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT)*4 ELSE (EnComprada*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT) +
(ConsumoPonta*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT)*4 + dICMS*TUSD { IF SCE = 1 THEN
(EnComprada*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT) + (ConsumoPonta*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT)*4 +
dICMS*TUSD ELSE (EnConsumida*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT) +
(ConsumoPonta*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT)*4 }
: f opxTE = IF TIME = 0 THEN 0 ELSE (EnComprada*TE*(1+ImpostoF)*IRT) +
(ConsumoPonta*TE*(1+ImpostoF)*IRT*4) + dICMS*TE
: f opxSAE = IF TIME = 0 THEN 0 ELSE IF SAEcap > 0 THEN SAEcusto*SAEcap*txManut+
PULSE(0.15*SAEcusto*SAEcap, 5, 5) ELSE 0
: c AjustarDemC = 0
: c DemC = IF AjustarDemC = 0 THEN MAX((EnConsumida/1.036), 30)*ModTarifa ELSE
MAX((EnComprada/1.036), 30)*ModTarifa
: c txDemU = IF MGDcap = 0 AND SAEcap = 0 THEN 0.1 ELSE IF MGDcap = 0 OR SAEcap
= 0 THEN 0.05 ELSE 0
: c DemU = DemC*txDemU
: c TDemCini = 17.96128203 {16.94}
: c TDemC = TDemCini*(1+ImpostoF)*IRT
: f opxDemandaC = IF TIME = 0 THEN 0 ELSE DemC*TDemC*12 + DemU*TDemC*12*2
: f opxSGE = IF SGE = 0 THEN 0 ELSE opxTE*0.02
: f opxAno = opxTE + opxDemandaC + opxMGD + opxEUSD + opxSAE + opxCRG + opxSGE
: c taxadesconto = 0.08
: c fatordesconto = 1/(1+taxadesconto)^TIME
: f VPano = (opxAno*fatordesconto) +cpxAno*0
: s ProducaoAnual = 1753 { SCHNEIDER UEP 1ph UPS
1310 2 0,4 152,4 3ph UPS -> 40Kva 88 7 1,4 533,4 3ph
UPS - < 40Kva 381 5 1 381 Inversor Solar 3ph 4 6 1,2 457,2
Rectifiers & Stabilizers 301 3 0,6 228,6 Total Geral 2084 2083,6
1752,6 SOLDER SUL NOVA EMPRESA }
: f txProdAno = IF TIME < 1 THEN 0 ELSE txAumentoP*ProducaoAnual
: s cpxT = 0
: s EnConsumidaT = 0
: s EnPerdaT = 0
: s opxT = 0
: s opxVP = 0
: s TarifAcum = 0
: f Despesas = cpxD+opxAno
: f IE = max(1000*EnConsumida/ProducaoAnual, 0) {kWh/produto}
: c EnVendida = EnVenDfx
: c RACL = EnVendida*TE*IRT*ACL

```

```

: c Gasto = delay(Despesas, 1) - RAEL
: c BRLkWhCons = max((Gasto)/DELAY(EnConsumida, 1), 0)/1000
: c ConsumoPontaMes = ConsumoPonta/12*1000
: c custoEnUEP = MAX(Gasto/ProducaoAnual, 0) {R$/UEP}
: c t = MAX(TIME-1, 1)
: c MTarifa = TarifAcum/t/1000
: c opxMedioMes = opxAno/12

```

```
{ RUNTIME EQUATIONS }
```

```

: s Consumoldeal(t) = Consumoldeal(t - dt) + (IncConsumo) * dt
: s EnergiaTDist(t) = EnergiaTDist(t - dt) + (EnIncDist) * dt
: s IRTacum(t) = IRTacum(t - dt) + (RTA) * dt
: s EfPainel(t) = EfPainel(t - dt) + (- DegPainel) * dt
: s MGDgerT(t) = MGDgerT(t - dt) + (MGDger - MGDUtilizada) * dt
: s EnSaldo(t) = EnSaldo(t - dt) + (EnExcedente - EnVendfx) * dt
: s EfBaterias(t) = EfBaterias(t - dt) + (RenBateria - DegBateria) * dt
: s ProducaoAnual(t) = ProducaoAnual(t - dt) + (txProdAno) * dt
: s cpxT(t) = cpxT(t - dt) + (cpxAno - cpxD) * dt
: s EnConsumidaT(t) = EnConsumidaT(t - dt) + (EnConsumida) * dt
: s EnPerdaT(t) = EnPerdaT(t - dt) + (EnPerda - EnRecup) * dt
: s opxT(t) = opxT(t - dt) + (opxAno) * dt
: s opxVP(t) = opxVP(t - dt) + (VPano) * dt
: s TarifAcum(t) = TarifAcum(t - dt) + (VFTarifaEnergia) * dt
: c ConsumoAno = ConsumoMes*12/1000
: c PIB = IF PanMacroEnergetico = 1 THEN 0 ELSE IF PanMacroEnergetico = 2 THEN 0.015

```

```
ELSE 0.030 { 1 3 }
```

```

: c txAumentoP = IF TIME < 1 THEN 0 ELSE PIB
: f IncConsumo = IF TIME = 0 THEN ConsumoAno*TXEfEne ELSE

```

```
txAumentoP*Consumoldeal
```

```

: c SGE = IF AEE=1 OR AEE=3 THEN 1 ELSE 0
: c SCE = IF AmbienteMGD = 3 THEN 1 ELSE IF AmbienteMGD = 2 THEN 2 ELSE 3
: c MGDGlobCapP = GRAPH(TIME)

```

```

(0,00, 348,0), (1,00, 614,0), (2,00, 821,0), (3,00, 1162,0), (4,00, 1705,0), (5,00, 2537,0), (6,00,
3742,0), (7,00, 5363,0), (8,00, 7382,0), (9,00, 9722,0), (10,00, 11497,0), (11,00, 13752,0), (12,00,
16106,0), (13,00, 18533,0), (14,00, 21004,0), (15,00, 23490,0), (16,00, 25963,0), (17,00, 28394,0),
(18,00, 30756,0), (19,00, 33019,0), (20,00, 35155,0), (21,00, 37137,0)

```

```

: c AtratividadeMGD = GRAPH(AmbienteMGD+PanMacroEnergetico)
(2,000, 1,000), (3,000, 1,250), (4,000, 1,500), (5,000, 1,750), (6,000, 2,000)
: f EnTMGD = (AtratividadeMGD)*MGDGlobCapP*ParDistr*1.35
: f GapMGD = MAX (EnergiaTDist-EnTMGD, 1)

```

```

: c IRT = MAX(IRTacum, 1)
: c CustoUSD = EnergiaTDist*TUSDIni*IRT
: f TUSDajustado = CustoUSD/GapMGD
: c TUSD = IF SCE = 3 THEN TUSDIni ELSE IF SCE = 2 AND TIME > (Carencia) THEN
HISTORY(TUSDajustado, Carencia) ELSE HISTORY(TUSDajustado, TIME)
: c BTar = IF PanMacroEnergetico = 1 THEN 0 ELSE IF PanMacroEnergetico = 2 THEN 15
ELSE 60 { 1 = VERDE 2 = AMARELA 3 = VERMELHA 2 }
: c TE = TEini+BTAR
: c ICMS = IF ModTarifa=0 THEN 0.30 ELSE 0.18
: c PIS = IF ModTarifa=0 THEN 0.0093 ELSE 0.011899
: c COFINS = IF ModTarifa=0 THEN 0.0438 ELSE 0.053004
: c ImpostoF = ICMS+PIS+COFINS
: f VFTarifaEnergia = {IF TIME = 0 THEN 0 ELSE} (TE+TUSD)*(1+ImpostoF)*IRT
: f cpxSGE = IF TIME = 0 THEN ConsumoMes/1000*VFTarifaEnergia*6*SGE ELSE 0
: c Subsidio = IF AmbienteMGD = 3 THEN 0.150 ELSE IF AmbienteMGD = 2 THEN 0.075
ELSE 0
: c SubsidioTx = Subsidio
: c CRGcusto = 2000*(1-SubsidioTx)
: c CRG = IF AEE=2 OR AEE=3 THEN 1 ELSE 0
: c DemM = ConsumoMes/200
: f cpxCRG = IF TIME = 0 THEN CRGcusto*DemM*0.5*CRG ELSE 0
: c MGDcap = MGD
: c MGDcusto = 6400*(1-SubsidioTx)
: f cpxMDG = IF MGDcap=0 THEN 0 ELSE IF TIME = 0 THEN MGDcusto*(MGDcap^
0.075)*MGDcap ELSE 0
: c ConsumoDia = ConsumoAno/260*1000
: c SAEcap = (ConsumoDia*(txCP)/0.5)*SAE
: c SAEcusto = (3260+1000)*(1-SubsidioTx)
: f cpxSAE = IF TIME = 0 THEN SAEcusto*SAEcap else 0
: f cpxAno = cpxMDG+cpxCRG+cpxSAE+cpxSGE
: f cpxD = IF TIME <1 THEN 0 ELSE (HISTORY(cpxAno, 0)/20)
: f RenBateria = PULSE(0.25, 1, 5)
: f DegPainel = EfPainel*0.01
: c TxPerdaQuali = IF CRG=0 THEN 0.05 ELSE 0
: c TxPerdaDisp = IF SAE = 0 THEN 0.05 ELSE 0 { IF SAE = 0 THEN 0.05 ELSE 0 0.05-
(Armazenagem/200)}
: c TxPerdaSGE = IF SGE=0 THEN 0.05 ELSE 0
: f TxPerdaTotal = TxPerdaQuali + TxPerdaDisp + txPerdaSGE + outrasperdas
: f EnPerda = (Consumoldeal/0.7)*TxPerdaTotal
: c TxRecuperacao = IF CRG = 0 THEN 0 ELSE 0.2

```

```

: f EnRecup = EnPerda*TxRecuperacao
: f EnConsumida = ConsumoIdeal+EnPerda-EnRecup
: f EnIncDist = EnergiaTDist*txAumentoP
: f EnMGDSim = MGDgerT*txSim
: c TarifaMinima = IF TIME = 0 THEN 0 ELSE IF ModTarifa=0 THEN 1.2 ELSE 0
: f EnMGDnSim = MGDgerT*(1-txSim)
: f EnComprada = MAX(EnConsumida-EnMGDsim-EnMGDnSim, TarifaMinima)
: f EnDisponivel = EnComprada+EnMGDsim+EnMGDnSim
: f EnExcedente = EnDisponivel-EnConsumida
: f EnVendfx = IF ACL = 0 THEN 0 ELSE EnSaldo
: c IPCA = IF PanMacroEnergetico = 1 THEN 0.02 ELSE IF PanMacroEnergetico = 2 THEN
0.04 ELSE 0.06
: c RTP = IF PanMacroEnergetico = 1 THEN PULSE(0, 4, 4) ELSE IF PanMacroEnergetico =
2 THEN PULSE(0.075, 4, 4) ELSE PULSE(0.15, 4, 4)
: c CDE = IF PanMacroEnergetico = 1 THEN 0 ELSE IF PanMacroEnergetico = 2 THEN 0.01
ELSE 0.02 { CUSTO DO DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO 0 1 2 }
: f RTA = IF TIME = 0 THEN 1 ELSE IRTacum*(IPCA+CDE+RTP) { IF TIME = 0 THEN 0
ELSE IF TIME = 1 THEN 1 ELSE IRTacum*(IPCA+CDE+RTP) }
: f MGDger = MGDcap*EfPainel*kWpMWhano*QFornecimento
: f MGDUtilizada = MGDgerT
: f opxMGD = IF TIME = 0 THEN 0 ELSE IF MGDcap=0 THEN 0 ELSE
MGDcusto*(MGDcap^-0.075)*MGDcap*txManut
: f opxCRG = IF TIME = 0 THEN 0 ELSE
ConsumoAno*TxPerdaTotal*CRG*CRGcusto*txManut
: c IncentivoFiscal = IF AmbienteMGD = 3 THEN 0 ELSE IF AmbienteMGD = 2 AND TIME <
(Carencia+2) THEN 0 ELSE 1 { 0 isenta ICMS 1 cobra ICMS da energia compensada Quando
AmbienteMGD = 2 isenta até o ano 10 }
: f EnInjetada = EnMGDnSim-(SAEcap*EfBaterias*0.365)
: c dICMS = EnInjetada*ICMS*IncentivoFiscal + EnInjetada*(PIS+COFINS)
: c SAEano = SAEcap*0.365*EfBaterias
: f fxConsumoPonta = (EnConsumida*txCP) - (SAEano*FA)
: c ConsumoPonta = fxConsumoPonta
: f opxEUSD = IF TIME = 0 THEN 0 ELSE IF SCE = 3 THEN
(EnConsumida*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT) + (ConsumoPonta*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT)*4 ELSE IF
SCE = 2 AND TIME > (Carencia) THEN (EnConsumida*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT) +
(ConsumoPonta*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT)*4 ELSE (EnComprada*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT) +
(ConsumoPonta*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT)*4 + dICMS*TUSD { IF SCE = 1 THEN
(EnComprada*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT) + (ConsumoPonta*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT)*4 +
dICMS*TUSD ELSE (EnConsumida*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT) +
(ConsumoPonta*TUSD*(1+ImpostoF)*IRT)*4 }

```

```

: f opxTE = IF TIME = 0 THEN 0 ELSE (EnComprada*TE*(1+ImpostoF)*IRT) +
(ConsumoPonta*TE*(1+ImpostoF)*IRT*4) + dICMS*TE {diferença entre as tarifas}
: f opxSAE = IF TIME = 0 THEN 0 ELSE IF SAEcap > 0 THEN SAEcusto*SAEcap*txManut+
PULSE(0.15*SAEcusto*SAEcap, 5, 5) ELSE 0
: c DemC = IF AjustarDemC = 0 THEN MAX((EnConsumida/1.036), 30)*ModTarifa ELSE
MAX((EnComprada/1.036), 30)*ModTarifa { Consumo Anual = 210MWh Demanda Contratada =
215KW 210/215 = 1.023809524 }
: c txDemU = IF MGDcap = 0 AND SAEcap = 0 THEN 0.1 ELSE IF MGDcap = 0 OR SAEcap
= 0 THEN 0.05 ELSE 0
: c DemU = DemC*txDemU
: c TDemC = TDemCini*(1+ImpostoF)*IRT
: f opxDemandaC = IF TIME = 0 THEN 0 ELSE DemC*TDemC*12 + DemU*TDemC*12*2
: f opxSGE = IF SGE = 0 THEN 0 ELSE opxTE*0.02
: f opxAno = opxTE + opxDemandaC + opxMGD + opxEUSD + opxSAE + opxCRG + opxSGE
: c fatordesconto = 1/(1+taxadesconto)^TIME
: f VPano = (opxAno*fatordesconto) +cpxAno*0
: f txProdAno = IF TIME < 1 THEN 0 ELSE txAumentoP*ProducaoAnual
: f Despesas = cpxD+opxAno
: f IE = max(1000*EnConsumida/ProducaoAnual, 0) {kWh/produto}
: c EnVendida = EnVenDfx
: c RA CL = EnVendida*TE*IRT*ACL
: c Gasto = delay(Despesas, 1 ) - RA CL
: c BRLkWhCons = max((Gasto)/DELAY(EnConsumida, 1), 0)/1000
: c ConsumoPontaMes = ConsumoPonta/12*1000
: c custoEnUEP = MAX(Gasto/ProducaoAnual, 0) {R$/UEP}
: c t = MAX(TIME-1, 1)
: c MTarifa = TarifAcum/t/1000
: c opxMedioMes = opxAno/12

{ TIME SPECS }
STARTTIME=0
STOPTIME=21
DT=1
INTEGRATION=EULER
RUNMODE=NORMAL
PAUSEINTERVAL=0

```

FIM DO CÓDIGO