

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

CRISTIANO BAUMGARTEN

**INSERÇÃO DE MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE FONTE SOLAR
FOTOVOLTAICA: UMA ABORDAGEM ATRAVÉS DA DINÂMICA DE
SISTEMAS**

Porto Alegre

2014

CRISTIANO BAUMGARTEN

**INSERÇÃO DE MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE FONTE SOLAR
FOTOVOLTAICA: UMA ABORDAGEM ATRAVÉS DA DINÂMICA DE
SISTEMAS**

Projeto de Diplomação apresentado ao
Departamento de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
como parte dos requisitos para Graduação em
Engenharia Elétrica

ORIENTADORA: Prof. Dr. Gladis Bordin

Porto Alegre

2014

CRISTIANO BAUMGARTEN

**INSERÇÃO DE MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE FONTE SOLAR
FOTOVOLTAICA: UMA ABORDAGEM ATRAVÉS DA DINÂMICA DE
SISTEMAS**

Este Projeto de Diplomação foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pela Orientadora e pela Banca Examinadora.

Prof. Dr. Gladis Bordin, UFRGS

Prof. Ph.D. Altamiro Amadeu Susin, UFRGS

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Gladis Bordin (Prof. Dr.) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

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

Flávio Becon Lemos (Prof. Dr.) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

A minha família, pelo apoio e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Renato e Vera, por toda a dedicação, empenho e estímulo em todos os momentos.

Aos meus irmãos Guilherme e Alexandre, pela amizade e lealdade demonstrada.

À minha namorada Michele, pela sinceridade, apoio e carinho.

À Professora Gladis Bordin, pelo aprendizado e incentivo.

Aos amigos, pelos momentos de alegria, diversão e descontração.

RESUMO

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) proporcionou, a partir da Resolução Normativa N°482/2012 (REN n°482), a possibilidade da micro e minigeração distribuída para os consumidores. Assim, é criada a figura do consumidor/gerador, àquele que consome energia elétrica da rede de distribuição e possui a capacidade de produzir e injetar nessa rede a energia gerada, recebendo em troca créditos de energia ativa. Passados três anos da criação dessa resolução, o número de unidades consumidoras que possuem essa característica é irrelevante (cerca de 70 unidades consumidoras em todo o Brasil). Tendo em vista este panorama e a legislação atual, neste trabalho pretende-se, mapear as políticas que possam alavancar e sustentar o crescimento das energias fotovoltaicas. Para isso é realizada, uma modelagem através da técnica de Dinâmica de Sistemas que possibilita ao consumidor tomar diferentes decisões a partir do panorama apresentado. Avaliando o histórico deste tipo de política em outros países, tem-se que a criação da tarifa prêmio, em conjunto com a redução do ICMS incidente sobre a energia gerada pelo consumidor/gerador e a exploração publicitária podem apoiar e fixar um novo patamar no contexto energético brasileiro com uso da micro e minigeração. Para avaliar a metodologia proposta foram construídos sete cenários, que evidenciam a necessidade destas políticas para estimular à micro e minigeração fotovoltaica no Brasil.

Palavras-Chave: Micro e minigeração fotovoltaica. Dinâmica de sistemas. Políticas. Tarifa Prêmio. Cenários.

ABSTRACT

The National Electric Energy Agency (ANEEL) provided, from the Normative Resolution No. 482/2012 (REN No. 482), the possibility of micro and minigeneration distributed to consumers. Therewith the figure of the consumer/generator is created, the one who consumes electricity from distribution network and has the ability to produce and inject the energy generated in this network, receiving in exchange for active energy credits. Three years after the creation of this resolution, the number of consumer units that have this characteristic is irrelevant (about 70 consumer units in Brazil). However, with the current situation and the current legislation is intended, thought this study, mapping policies that leverage and sustain the growth of photovoltaic energy. For this is accomplished, a model using the technique of System Dynamics that enables the consumer to make different decisions from the scenarios presented. Therefore, evaluating the historical and this type of policy in other countries has been the creation of the Feed-in Tariffs, together with the reduction of the ICMS tax on energy generated by the consumer/generator and the advertising can support exploration and definitely set a new standard in the Brazilian energy context with the use of micro and minigeneration. To evaluate the proposed methodology seven scenarios which demonstrate the need for these policies to stimulate the micro and minigeneration photovoltaic in Brazil were built.

Keywords: Micro and minigeneration photovoltaic. Systems Dynamics. Mapping policies. Feed-in Tariffs. Scenarios.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Junção p-n	26
Figura 2: Unidades básicas de um sistema fotovoltaico.....	27
Figura 3: Histórico do desenvolvimento das células fotovoltaicas	28
Figura 4: Tarifas feed-in para Alemanha e Itália.....	34
Figura 5: Potência anual instalada em sistemas fotovoltaicos.....	36
Figura 6: Abordagem Qualitativa - Diagrama de Enlace Causal	41
Figura 7: Símbolos para DEF	42
Figura 8: Modo de Referência	48
Figura 9: DLC - Decisão do consumidor.....	49
Figura 10: DLC - Principal.....	50
Figura 11: Laço Causal 1	51
Figura 12: Laço Causal 2.....	52
Figura 13: Submodelo Computacional - Decisão do Consumidor	52
Figura 14: Modelo Computacional Completo	53
Figura 15: Submodelo computacional - Potencial, regulamentação e incentivos	54
Figura 16: Submodelo computacional - Tarifa de energia elétrica e valor economizado.....	55
Figura 17: Submodelo computacional - Evolução do setor de serviços e produção industrial	57
Figura 18: Submodelo computacional - Custo de Implementação.....	58
Figura 19: Submodelo Computacional - Decisão do Consumidor	60
Figura 20: Submodelo computacional - Fontes renováveis de micro e minigeração de energia elétrica.....	62
Figura 21: Análise de sensibilidade - Potencial inicial.....	72

Figura 22: Análise de Sensibilidade - Tarifa Prêmio	73
Figura 23: Análise de Sensibilidade - Tarifa de Compra	74
Figura 24: Análise de sensibilidade - Publicidade.....	75
Figura 25: Análise de sensibilidade - Consumo médio	76
Figura 26: Cenário Atual – Decisão do Consumidor	78
Figura 27: Cenário Atual – Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE	78
Figura 28: Cenário redução de impostos nos equipamentos – Decisão do Consumidor.	79
Figura 29: Cenário redução de impostos nos equipamentos – Fontes Renováveis de Micro e inigeração de EE	80
Figura 30: Ajustes na Tarifa de Energia Elétrica – Decisão do Consumidor.....	81
Figura 31: Ajustes na Tarifa de Energia Elétrica – Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE	82
Figura 32: Cenário publicidade e cultura – Decisão do Consumidor.....	83
Figura 33: Cenário publicidade e cultura – Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE	83
Figura 34: Cenário redução de impostos, incentivo na tarifa e aumento da publicidade com maiores pesos – Decisão do Consumidor	85
Figura 35: Cenário redução de impostos, incentivo na tarifa e aumento da publicidade com maiores pesos – Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE	85
Figura 36: Cenário redução de impostos, incentivo na tarifa e aumento da publicidade com menores pesos – Decisão do Consumidor	87
Figura 37: Cenário redução de impostos, incentivo na tarifa e aumento da publicidade com menores pesos – Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE	87
Figura 38: Cenário otimista – Decisão do Consumidor	88
Figura 39: Cenário otimista – Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE	89
Figura 40: Comparação entre os cenários – Decisão do Consumidor.....	89
Figura 41: Comparação entre os cenários – Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Acesso ao sistema de distribuição	21
Quadro 2: Principais documentos referentes à micro e minigeração	22
Quadro 3: Tarifas-prêmio pagas a instalações fotovoltaicas integradas a edificações e interligadas à rede elétrica pública na Alemanha (centavos de Euro por kWh gerado) .	33
Quadro 4: Principais políticas na evolução do mecanismo regulatório espanhol	35
Quadro 5: Valores da Tecnologia.....	64
Quadro 6: Valores da Variação da Tarifa.....	66
Quadro 7: Evolução do Índice de Educação.....	69
Quadro 8: Evolução do indicador FEC.....	69
Quadro 9: Evolução do indicador FEC limite	69
Quadro 10: Evolução do indicador DEC	69
Quadro 11: Evolução do indicador DEC limite.....	70
Quadro 12: Análise de sensibilidade - Potencial inicial	71
Quadro 13: Análise de Sensibilidade - Tarifa Prêmio.....	72
Quadro 14: Análise de sensibilidade - Tarifa de Compra	73
Quadro 15: Análise de sensibilidade - Publicidade	74
Quadro 16: Análise de sensibilidade - Consumo Médio	75
Quadro 17: Variáveis de Cenário – Valores padrões	77
Quadro 18: Variáveis de Cenário – Redução de impostos nos equipamentos	79
Quadro 19: Variáveis de Cenário – Ajustes na Tarifa de Energia Elétrica	81
Quadro 20: Variáveis de Cenário – Publicidade e Cultura.....	83
Quadro 21: Variáveis de Cenário – Redução de impostos, incentivo na tarifa e aumento da publicidade com maiores pesos	84
Quadro 22: Variáveis de Cenário – Redução de impostos, incentivo na tarifa e aumento da publicidade com menores pesos	86

Quadro 23: Variáveis de Cenário – Otimista.....	88
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEEE-D	Companhia Estadual de Energia Elétrica – Distribuição
CNPJ	Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
CPF	Cadastro de Pessoas Físicas
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
DEC	Duração Equivalente de interrupção por unidade Consumidora
EE	Energia Elétrica
FEC	Frequência Equivalente de interrupção por unidade Consumidora
FRE	Fontes Renováveis de Energia
GT-FOT	Grupo de Trabalho de Sistemas Fotovoltaicos
GT-GDSF	Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos
IEA	<i>Internacional Energy Agency</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PCH	Pequenas Centrais Hidroelétricas
PIB	Produto Interno Bruto
PRODEEM	Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
RN	Resolução Normativa
SEB	Setor Elétrico Brasileiro
SIN	Sistema Interligado Nacional
SPE	Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético
TMR	Tarifa Média de Referência
TUSD	Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição
TUST	Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 MOTIVAÇÃO.....	16
1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	17
1.3 OBJETIVOS.....	18
1.3.1 Gerais.....	18
1.3.2 Específico	19
1.4 METODOLOGIA DE PESQUISA	19
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2 ASPECTOS REGULATÓRIOS	21
2.1 ESTRUTURA TARIFÁRIA	23
2.2 TARIFA BRANCA	24
2.3 BANDEIRA TARIFÁRIA	24
2.4 CONSIDERAÇÕES	25
3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	26
3.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO	26
3.2 HISTÓRICO DO EFEITO SOLAR FOTOVOLTAÍCO	27
3.3 HISTÓRICO DAS POLÍTICAS BRASILEIRAS RELACIONADAS À ENERGIA FOTOVOLTAICA	29
3.4 HISTÓRICO DAS POLÍTICAS MUNDIAIS RELACIONADAS À ENERGIA FOTOVOLTAICA	31
3.4.1 Feed-in Tariffs	31
3.4.2 Quota Obligation	32
3.4.3 Net Metering	32

3.4.4 Histórico das políticas relacionadas à Energia fotovoltaica na Alemanha	....32
3.4.5 Histórico das políticas relacionadas à Energia fotovoltaica na Espanha	.....36
4 CONCEITOS DE DINÂMICA DE SISTEMAS	.....38
4.1 CONHECIMENTO DO SISTEMA	.....39
4.2 ESPECIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO DINÂMICO	.....40
4.3 MODELO TEÓRICO – DIAGRAMA DE LAÇO CAUSAL	.....41
4.4 MODELO COMPUTACIONAL – DIAGRAMA DE ESTOQUE E FLUXO	.....42
4.5 ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS	.....43
4.6 SIMULAÇÕES	.....44
4.7 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	.....44
4.8 TESTE DE POLÍTICAS	.....45
5 MODELO PROPOSTO	.....46
5.1 CONHECENDO O SISTEMA	.....46
5.2 DETERMINAÇÃO DO MODO DE REFERÊNCIA	.....48
5.3 DIAGRAMA DE LAÇO CAUSAL	.....49
5.4 MODELO COMPUTACIONAL DESENVOLVIDO	.....52
5.4.1 Potencial, regulamentação e incentivos	.....54
5.4.2 Tarifa de energia elétrica e valor economizado	.....55
5.4.3 Evolução do setor de serviços e produção industrial	.....56
5.4.4 Custo de implementação	.....57
5.4.5 Decisão do consumidor	.....60
5.4.6 Fontes renováveis de micro e mini geração de energia elétrica	.....62
5.5 ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS	.....63
6 SIMULAÇÕES, RESULTADOS E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	.....71

6.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	71
6.2 CENÁRIOS	76
6.2.1 Primeiro cenário: Cenário Atual (pessimista)	77
6.2.2 Segundo cenário: Redução de impostos nos equipamentos	79
6.2.3 Terceiro cenário: Ajustes na Tarifa de Energia Elétrica.....	80
6.2.4 Quarto cenário: Publicidade e cultura	82
6.2.5 Quinto cenário: Redução de impostos, incentivo na tarifa e aumento da publicidade com maiores pesos	84
6.2.6 Sexto cenário: Redução de impostos, incentivo na tarifa e aumento da publicidade com menores pesos	86
6.2.7 Sétimo cenário: Otimista.....	88
6.2.8 Comparação entre os cenários.....	89
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
7.1 CONCLUSÕES	91
7.2 TRABALHOS FUTUROS	92
REFERÊNCIAS	94
ANEXO A	100
ANEXO B	105

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

Com a publicação da Resolução Normativa N°. 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) – RN 482 um novo tipo de mercado esta sendo introduzido no Brasil e, conseqüentemente, são necessários estudos do comportamento deste mercado para melhor entendê-lo.

A busca pela diversificação da matriz elétrica remete a um novo paradigma energético, representado pela introdução de tecnologias renováveis que, embora ainda mais caras, tornam-se mais viáveis na medida em que se expandem (MME, 2009). O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é atualmente uma das alternativas energéticas mais promissoras para prover a energia necessária ao desenvolvimento humano (PINHO; GALDINO, 2014).

Interessa, portanto, aos formadores de políticas introduzirem, ao lado dessa indústria e sem comprometer sua robustez e baixo custo, uma opção de grande potencial de crescimento e que sirva como novo motor da economia, promovendo o uso de vetores energéticos modernos e sustentáveis, novas fronteiras de investimento industrial e de geração de empregos e novas linhas de pesquisa e desenvolvimento tecnológico (MME, 2009).

A tendência natural é a queda dos preços dos componentes por conta da evolução tecnológica e dos ganhos de escala, que apontam para o momento em que será uma opção para alguns consumidores instalar um sistema fotovoltaico no telhado da sua residência ou comprar energia convencional (MME, 2009).

Com a publicação da RN 482, a partir de 17 de abril de 2012, iniciou-se a possibilidade dos consumidores tornarem-se geradores de energia elétrica para compensar parte de seus gastos com a energia elétrica, através da injeção da energia excedente gerada na rede de distribuição. Neste contexto, surge a necessidade de aprofundar os conhecimentos na área para que possam ser utilizados tais recursos da melhor forma possível.

Torna-se essencial, portanto, uma discussão estratégica, no âmbito governamental, com a finalidade de estabelecer uma proposta objetiva de incentivos econômicos à inserção da tecnologia solar fotovoltaica (MME, 2009). A partir desta nova alternativa de suprimento facultada ao consumidor, a Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético (SPE) criou o Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos (GT-GDSF). Esse Grupo foi instituído por meio da Portaria n.º 36 da SPE em novembro de 2008, com a finalidade de elaborar estudos, propor condições e sugerir critérios destinados a subsidiar definições competentes acerca de uma proposta de utilização de geração fotovoltaica conectada à rede, em particular, em edificações urbanas (MME, 2009).

Assim, é importante avaliar, dentro do contexto atual, as políticas que poderão trazer importantes mudanças para o desenvolvimento de uma atmosfera propícia ao desenvolvimento da micro e minigeração fotovoltaica.

1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O Setor Elétrico Brasileiro (SEB) passou por três grandes fases na projeção de mercado. Na primeira fase (até o final da década de 70) a metodologia de projeção tinha um enfoque predominantemente determinístico. Esta metodologia seguia a portaria 760 do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), nela devia-se identificar as premissas básicas de mercado (cenários para o comportamento do Produto Interno Bruto e cenários para o consumo de energia elétrica), devia-se realizar coleta e análise de dados (série histórica anual, informação sobre auto-produtores e grandes consumidores) e devia-se realizar a pesquisa de campo (consumidores existentes e consumidores potenciais). Assim era feito uma projeção por classe de consumo, além de uma abordagem extrapolativa e determinística.

Na segunda fase (década de 80 até o final da década de 90) tinha-se um enfoque predominante de incertezas. Aqui se começa a adotar o método dos multi-cenários, na qual esta técnica preza pela relevância, identidade, coerência, plausibilidade e transparência. O processo de criação desse cenário passa por identificar as principais variáveis para se construir um possível cenário.

Na terceira fase (a partir do final da década de 90) tinha-se um enfoque emergente do mercado competitivo. Nesta fase os métodos englobam aspectos técnicos e estratégicos, fazendo-se necessário a criação de cenários de demanda e de projeções de mercado. São criados modelos macroeconômicos do planejamento da demanda setorial (modelos tradicionais) e modelos microeconômicos do planejamento de demanda empresarial (modelos dinâmicos).

Com a publicação da RN 482, não houve a necessidade alteração destas metodologias visto que a quantidade de energia gerada e injetada na rede de distribuição é, em um primeiro momento, insignificante.

Para que se tenha aceitação desta tecnologia, que possui um alto custo de implantação, torna-se necessário que existam políticas governamentais que estimule tanto a produção dos componentes utilizados na construção do sistema fotovoltaico, quanto na sua comercialização.

Atualmente no país a maior parte das empresas que atuam no segmento fotovoltaico trabalha com a integração de sistemas. De forma geral, essas empresas importam módulos e inversores e adquirem os demais componentes no mercado nacional, sempre que possível (ABINEE, 2012).

Assim, é imprescindível para as agências reguladoras e demais agentes investigarem quais são os estímulos necessários para alavancar os processos relacionados à micro e minigeração, a fim de estimular e tornar viável economicamente este mercado.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Gerais

- Determinar o potencial fotovoltaico da região de estudo;
- Estudar as normas vigentes que estimulam a implantação das unidades geradoras;
- Quantificar os custos de instalação, operação e manutenção das instalações fotovoltaicas, verificando tempo de retorno e comparando

com a aplicação em outro investimento de renda fixa (por exemplo, a poupança);

- Analisar políticas que impulsionarão ou inviabilizarão o investimento.
- Identificar as barreiras à inserção de energia fotovoltaica.

1.3.2 Específico

- Desenvolver uma metodologia para simular o comportamento dinâmico da micro e minigeração solar fotovoltaica na área de uma distribuidora de energia elétrica, com uso da técnica de Dinâmica de Sistemas.

1.4 METODOLOGIA DE PESQUISA

O presente trabalho é caracterizado como um estudo longitudinal e analítico (MARCONI; LAKATOS, 2007), realizado na área de concessão da CEEE-D ao longo do período de 2014 a 2030.

A Dinâmica de Sistemas se baseia em dados históricos e projeções das diversas variáveis, as quais podem ser separadas em quatro partes. Na primeira, foram coletados os dados relacionados à Tarifa de Energia Elétrica. Na segunda, informações referentes aos custos e tecnologias utilizadas nos equipamentos fotovoltaicos. Por sua vez, a terceira parte buscou a evolução do Setor de Serviços e da Produção Industrial. A última parte buscou mapear o nível de estudo, renda, PIB e indicadores de confiabilidade do sistema elétrico.

O estudo possui caráter analítico, pois projeta em números o potencial de energia fotovoltaica utilizada pela micro e minigeração através das diversas possibilidades de políticas adotadas pelos governos e órgãos competentes. A pesquisa documental se caracteriza como qualitativa, à medida que se avaliou os documentos para coletar subsídios que devam ser considerados. Foram elaborados cenários de projeção, o qual se realizou uma comparação entre as políticas adotadas com a variação das mesmas. Segundo Marconi e Lakatos (2007), nesse caso, não se procura validar um cenário, mas apenas discutir o impacto que cada um pode causar.

O modelo foi desenvolvido com uso da técnica de Dinâmica de Sistemas e simulado com o auxílio do programa *Powersim* versão 10. Através do modelo foi avaliado o impacto que as políticas exercem sobre a Decisão do Consumidor e, conseqüentemente, sobre o potencial total instalado de fontes fotovoltaicas.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho é composto por 7 capítulos citados a seguir.

O presente capítulo, Capítulo 1, é introdutório.

O Capítulo 2 apresenta os aspectos regulatórios pertinentes à micro e minigeração distribuída, elucidando as principais propriedades dos documentos legais e as suas contribuições.

O Capítulo 3 apresenta a geração fotovoltaica e sua evolução histórica. Além disso, são descritas as ações políticas relacionadas à energia fotovoltaica nacional, alemã e espanhola.

No Capítulo 4 é realizada uma explanação teórica dos conceitos de Dinâmica de Sistemas. Para uso desta técnica, é necessário se ter o conhecimento do sistema estudado, especificar o comportamento dinâmico para então desenvolver o modelo teórico. Com isto, parte-se para a estimação dos parâmetros e o desenvolvimento computacional.

No Capítulo 5 é apresentado o modelo proposto, expondo os critérios e parâmetros utilizados.

No Capítulo 6 são mostradas as simulações e resultados obtidos através das políticas adotadas. Além disso, é realizada a análise de sensibilidade do sistema.

No Capítulo 7, o estudo é concluído e são apresentadas as considerações finais referentes à pesquisa, além das melhorias propostas.

2 ASPECTOS REGULATÓRIOS

No Brasil, os sistemas fotovoltaicos enquadrados como sistemas de micro e minigeração, são regulamentados pela RN 482, e devem atender aos Procedimentos de Distribuição (PRODIST), Módulo 3, e às normas de acesso das distribuidoras locais (PINHO; GALDINO, 2014). O procedimento de conexão ao sistema de distribuição sofreu novas e importantes alterações com esta resolução. No Quadro 1 são exemplificadas as revisões referentes ao acesso ao sistema de distribuição.

Quadro 1: Acesso ao sistema de distribuição.

Módulo 3 - Acesso ao Sistema de Distribuição				
Revisão		Motivo de Revisão	Instrumento de aprovação da ANEEL	Data de Vigência
X	0	Primeira Versão aprovada (após realização da AP 014/2008)	REN nº 345/2008	De 31/12/2008 a 31/12/2009
X	1	Revisão 1 (após realização da AP 033/2009)	REN nº 395/2009	De 01/01/2010 a 31/12/2010
X	2	Revisão 1 (após realização da AP 046/2010)	REN nº 424/2010	De 01/01/2011 a 11/04/2011
X	3	Revisão 1 (após realização da CP 09/2010)	REN nº 432/2011	De 12/04/2011 a 18/04/2012
X	4	Revisão 1 (após realização da AP 42/2011)	REN nº 482/2012	De 19/04/2012 a 13/12/2012
V	5	Revisão 1 (após realização da AP 100/2012)	REN nº 517/2012	14/12/2012

Fonte: ANEEL (2014).

A RN 482 define microgeração e minigeração, respectivamente, como empreendimentos com potência instalada de até 100kW e empreendimentos com potência instalada entre 100kW e 1MW. Além disso, esta resolução cria a figura do consumidor/gerador. O consumidor/gerador é quem consome energia elétrica da rede de distribuição e possui a capacidade de produzir e injetar nessa rede a energia gerada, recebendo em troca créditos de energia ativa. A energia cedida ao sistema de distribuição poderá ser compensada na forma de créditos em um prazo de 36 meses na própria unidade consumidora ou em outra unidade consumidora que possua o mesmo Cadastro de Pessoas Físicas (CPF) ou Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica (CNPJ).

Em abril de 2012, a ANEEL aprovou a Resolução Normativa N°. 481 (RN 481) que ampliou, para o caso da energia solar, a redução do desconto das tarifas de uso dos sistemas de transmissão (ou distribuição) de 50% para 80% nos dez primeiros anos de operação, regressando ao patamar de 50% de desconto nos anos subsequentes (ABINEE, 2012). Os principais documentos relacionados à micro e minigeração estão compilados no Quadro 2, que ressalta os pontos capitais de cada normativa.

Quadro 2: Principais documentos referentes à micro e minigeração.

Documento	Objetivo	Aspectos relevantes ao modelo proposto
PRODIST Módulo 3 Acesso ao sistema de distribuição	Definição dos critérios para conexão à rede de distribuição.	Definição dos equipamentos necessários conforme a potência instalada. Define os procedimentos aplicáveis ao controle, operação e manutenção das conexões.
REN n°77/2004	Redução das tarifas de uso do sistema de transmissão e distribuição para empreendimentos hidroelétricos e aqueles com base em fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, cuja potência injetada nos sistemas de transmissão e distribuição seja menor ou igual a 30MW.	Estabelece o tempo de vigência e os descontos superiores a 50% nas Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão (TUST) e Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD).
REN n°414/2010	Estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada.	Modalidade tarifária horária branca estabelece diferentes valores de tarifa para postos tarifários. Definição do horário de ponta é de responsabilidade da distribuidora.
REN 502/2012	Regulamenta sistemas de medição de energia elétrica de unidades consumidoras do Grupo B.	Nenhuma condição significativa.
REN n° 547/2012	Estabelece os procedimentos comerciais para aplicação do sistema de bandeiras tarifárias.	Aplicação de bandeiras tarifárias e data de início para sua vigência.
REN n° 481/2012	Retificação da REN n° 77. Estabelece uma nova redução na TUST e TUSD	Estabelece o desconto de 80% na TUST e TUSD para os empreendimentos que entrarem em operação até dezembro de 2017. Após 10 anos de operação o desconto será reduzido para 50%. Os empreendimentos que entrarem após 2017 receberam o desconto de 50% na TUST e TUSD.

Continuação do Quadro 2		
Documento	Objetivo	Aspectos relevantes ao modelo proposto
REN n° 482/2012	Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e ao sistema de compensação de energia elétrica .	Define micro e minigeração distribuída com base na potência instalada e estipula um sistema de compensação de energia através de créditos. Determina que o custo de adequação da medição são de responsabilidade da parte interessada.
REN n° 517/2012	Retificação da REN 482.	Aprimoramento nos textos referentes à compensação de energia.

Fonte: Adaptado de Faria (2014).

2.1 ESTRUTURA TARIFÁRIA

Define-se estrutura tarifária como sendo o conjunto de tarifas aplicáveis aos componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência, de acordo com a modalidade de fornecimento (ANEEL, 2005). As unidades consumidoras atendidas com tensão igual ou superior a 2,3 kV são classificadas como grupo A e as unidades consumidoras atendidas com tensão inferior a 2,3 kV como grupo B. Como o enfoque deste estudo são os consumidores do grupo B, é apresentado a seguir os subgrupos que o compõem.

- Subgrupo B1: Classe residencial e subclasse residencial baixa renda;
- Subgrupo B2: Classe rural, abrangendo diversas subclasses, como agropecuária, cooperativa de eletrificação rural, indústria rural, serviço público de irrigação rural;

- Subgrupo B3: Demais classes: industrial, comercial, serviços e outras atividades, poder público, serviço público e consumo próprio;
- Subgrupo B4: Classe iluminação pública.

2.2 TARIFA BRANCA

A Tarifa Branca é aplicada às unidades consumidoras do grupo B, exceto para o subgrupo B4 e para a subclasse Baixa Renda do subgrupo B1. Além disso, é caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica conforme as horas de utilização do dia.

Nos dias úteis, o valor Tarifa Branca varia em três horários: ponta, intermediário e fora de ponta. Na ponta e no intermediário, a energia é mais cara. Fora de ponta, é mais barata. Nos feriados nacionais e nos finais de semana, o valor é sempre fora de ponta (ANEEL, 2014a).

Se o consumidor adotar hábitos que priorizem o uso da energia fora do período de ponta, diminuindo fortemente o consumo na ponta e no intermediário, a opção pela Tarifa Branca oferece a oportunidade de reduzir o valor pago pela energia consumida (ANEEL, 2014a).

2.3 BANDEIRA TARIFÁRIA

A partir de 2015, as tarifas de energia elétrica terão uma novidade: o Sistema de Bandeiras Tarifárias. As bandeiras verde, amarela e vermelha indicarão se a energia custará mais ou menos, em função das condições de geração de eletricidade (ANEEL, 2014b).

A bandeira verde não sofrerá nenhum acréscimo. Na bandeira amarela a tarifa será acrescida de 0,015 R\$/kWh. A bandeira vermelha gera um acréscimo de 0,03 R\$/kWh.

Com a aplicação das bandeiras tarifárias, o consumidor tem a oportunidade de gerenciar melhor o seu consumo de energia elétrica e reduzir o valor da fatura de Energia Elétrica (ANEEL, 2014b).

2.4 CONSIDERAÇÕES

Há, ainda, os seguintes fatores de importância a destacar na RN 482 e na RN 517.

- Não há a necessidade de assinatura de contratos de uso e conexão entre o micro e minigerador e a distribuidora. É suficiente a celebração de Acordo Operativo;
- Os custos de eventuais ampliações ou reforços no sistema de distribuição em função exclusivamente da conexão de microgeração ou minigeração distribuída participante do sistema de compensação de energia elétrica não deverão fazer parte do cálculo da participação financeira do consumidor, sendo integralmente arcados pela distribuidora (ANEEL, 2012a);
- A adesão ao sistema de compensação de energia elétrica não se aplica aos consumidores livres ou especiais (ANEEL, 2012a);
- Deverá ser cobrado, no mínimo, o valor referente ao custo de disponibilidade para o consumidor do grupo B, ou da demanda contratada para o consumidor do grupo A, conforme o caso (ANEEL, 2012a);
- Caso existam postos tarifários e a energia ativa injetada em um determinado posto tarifário seja superior à consumida, a diferença deverá ser utilizada para compensação em outros postos tarifários dentro do mesmo ciclo de faturamento, devendo ser observada a relação entre os valores das tarifas de energia (ANEEL, 2012c);
- Os custos referentes à adequação do sistema de medição, necessário para implantar o sistema de compensação de energia elétrica, são de responsabilidade do interessado (ANEEL, 2012c).

3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

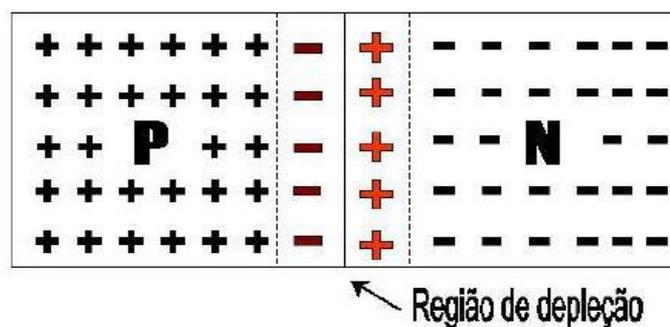
3.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO

As células fotovoltaicas são dispositivos semicondutores fotossensíveis que possuem a capacidade de converter energia luminosa em energia elétrica. Portanto, a célula fotovoltaica pode ser entendida como a unidade básica dos módulos fotovoltaicos e são, geralmente, construídas utilizando-se o silício.

Os fótons atingem o módulo solar e são absorvidos pelo material semicondutor, dessa forma são liberados os elétrons da banda de valência para a banda de condução, resultando no surgimento de tensão elétrica. Dessa forma há a circulação de corrente entre os terminais, os quais podem ser conectados em série para que haja aumento da tensão, ou em paralelo, para que haja aumento da corrente.

O material semicondutor pode ser do tipo n e do tipo p. Se diz que um material semicondutor é do tipo n quando há excesso de elétrons, e um material semicondutor é do tipo p quando há excesso de lacunas. Em um módulo fotovoltaico é interessante utilizar-se destas duas aplicações, como apresentado na Figura 1.

Figura 1: Junção p-n.

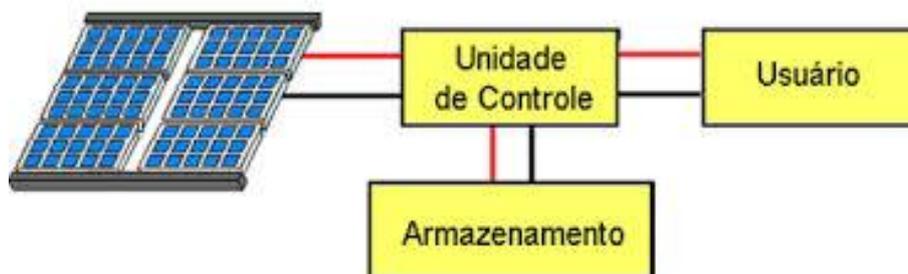


Fonte: Bühler (2007).

Além do componente de geração (módulo fotovoltaico), o sistema é constituído de um bloco de condicionamento de potência, um bloco de armazenamento e outro de segurança. O módulo de geração é composto por um ou mais módulos fotovoltaicos conectados em série ou em paralelo, a estrutura de suporte e o cabeamento elétrico. O bloco de condicionamento de potência pode ser conectados com inversores c.c.-c.c.,

seguidor de ponto de potência máxima e inversores. O bloco de armazenamento é implementado utilizando-se baterias. O sistema de segurança é construído de modo a garantir a segurança da estrutura física envolvida, bem como a integridade física das pessoas envolvidas. Na Figura 2 podem ser observados os blocos básicos desse sistema.

Figura 2: Unidades básicas de um sistema fotovoltaico.



Fonte: Adaptado de CRESESB (2014).

3.2 HISTÓRICO DO EFEITO SOLAR FOTOVOLTAICO

No ano de 1839, o francês Alexandre Edmond Becquerel observou que ao expor à luz placas de prata ou platina mergulhadas em um eletrólito, produzia-se uma diferença de potencial entre as mesmas. Em 1873, Smith descobriu que o selênio possuía a característica de fotocondutividade, e, no ano seguinte, deste material fez-se a primeira célula fotovoltaica cuja eficiência não chegava a 1%. Após diversos avanços tecnológicos, como a explicação do efeito fotoelétrico a teoria das bandas de energia e a purificação e dopagem aplicadas aos transmissores, foi anunciada por Calvin Fuller, Gerald Pearson e Daryl Chapin a primeira célula solar moderna, em 1954. Sua eficiência era de 6% gerando 0,005W. No final dos anos 90, políticas governamentais no Japão e na Alemanha (com o objetivo de reduzir a emissão de CO₂) impulsionaram o desenvolvimento desse mercado. A Figura 4 apresenta a evolução dos principais eventos que ocorreram no desenvolvimento de células fotovoltaicas.

Figura 2: Histórico do desenvolvimento das células fotovoltaicas.

1800	Descoberta do Selênio (Se) (Berzelius)
1820	Preparação do Silício (Si) (Berzelius)
1840	Efeito Fotovoltaico (Becquerel)
1860	Efeito Fotocondutivo no Se (Smith)
	Retificador de Ponto de Contato (Braun)
1880	Efeito Fotocondutivo no Se (Adams & Day)
	Célula Fotovoltaica de Se (Fritts/Uljanin)
1900	Fotosensibilidade em Cu-Cu ₂ O (Hallwachs)
1910	
	Efeito Fotovoltaico com Barreira de Potencial (Goldman & Brodsky)
1920	Monocristal a partir do Si Fundido (Czochralski)
	Retificador de Cu-Cu ₂ O (Grondahl)
1930	Célula Fotovoltaica de Cu-Cu ₂ O (Grondahl & Geiger)
	Teorias de Bandas em Sólidos (Strutt/Brillouin/Krönig & P)
	Teorias de Células com Barreiras V e H (Schottky et al)
1940	Teoria da Difusão Eletrônica (Dember)
	Aplicações Fotométricas (Lange)
	1% de Eficiência em Células de Sulfeto de Tálio (Nix & Treptow)
1950	Crescimento de Células Fotovoltaicas com Junção (Ohl)
	Teoria da Junções $p-n$ (Shockley)
1954	Célula Solar de Si (Pearson, Fuller & Chapin)
1955	Junções $p-n$ Difundidas (Fuller)
1960	Célula Solar de CdS (Reynolds et al)
	Teorias de Células Solares (Piann & Roosbroeck/Prince)
1962	O "Bandgap" e a Eficiência das Células (Loferski, R. & W)
	Teoria da Resposta Espectral, Mecanismo de Perdas (Wolf)
	Efeitos de Resistência em Série (Wolf & Rauschenbach)
	Células de Si n/p Resistentes a Radiação (Kesperis & M.)
	Contatos Evaporados de Ti-Ag (BTL)
1973	Células Violeta com 15,2% de Eficiência
1976	Células de Silício Amorfo (a-Si)
1992	Células Metal-Insulator-Semicondutor (MIS) de 24% de Eficiência
1998	Células de Silício Monocristalino com Eficiência de 24,7%
1999	Potência Instalada Acumulada Atinge o Primeiro GWp
2002	Potência Instalada Acumulada Dobra em Relação a 1999
2005	Eficiência Superior a 20% para Células em Silício Policristalino
2006	Células Multijunção com Rendimentos Superiores a 34%
	Células de Tripla Junção Superam os 40 % de Eficiência
2008	Módulos de c-Si Dominam 87% do Mercado (John Wiley & Sons, 2011)
	Expansão de Módulos de Filme Fino (a-Si, CdTe e módulos CIS)
2009	Mais de 23 GWp Instalados (EPIA)
2011	Mais de 70 GWp de Potência Instalada Acumulada (EPIA, 2012)
2012	Potência Instalada Acumulada Supera 100 GWp (EPIA, 2013)

Fonte: Pinho; Galdino (2014).

3.3 HISTÓRICO DAS POLÍTICAS BRASILEIRAS RELACIONADAS À ENERGIA FOTOVOLTAICA

A “Lei da Informática”, instituída em 1991, estabelecia barreiras alfandegárias à importação de equipamentos de informática com o intuito de desenvolver a indústria nacional. Os equipamentos fotovoltaicos por empregarem silício monocristalino nas células solares também estavam protegidos por esta legislação. No campo fotovoltaico, a Lei da Informática propiciou a instalação de somente uma empresa (a Heliodinâmica) que produzia lingotes de silício monocristalino, células e módulos fotovoltaicos com aplicação em sistemas isolados (ABINEE, 2012). Em 1992, houve uma alteração no conceito desta lei na qual passou a se admitir a atuação de empresas internacionais no mercado nacional.

Em 1994, o Programa Luz para Todos, através do Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM) abre licitações para a implementação de sistemas fotovoltaicos em localidades onde há a inviabilidade econômica de se fazer redes de distribuição. A metodologia adotada na época não permitiu uma inserção tecnológica sustentável, de modo que não se logrou êxito no amadurecimento dessa alternativa de geração (MME, 2009). Por deficiência no desenvolvimento da indústria brasileira, esta licitação, que apresentou a instalação de 2046 sistemas fotovoltaicos segundo o Relatório da Administração da Eletrobrás de 2009, teve de abranger a indústria internacional.

Em 1994 foi criado o Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB) cujas atividades destinam-se à divulgação de informações, edição de publicações, realização de cursos e manutenção da biblioteca especializada. Dessa forma, este centro é um apoio aos programas do Governo Federal e um instrumento para a difusão do conhecimento relacionado a estas energias.

Apesar da primeira instalação fotovoltaica ligada à rede ser de 1995 (Chesf), utilizando inversor nacional, o número de instalações de sistemas fotovoltaicos operando como unidades de geração distribuída em paralelo com a rede elétrica de baixa tensão é ainda muito pequeno e pouco expressivo em termos de capacidade. A usina de Tauá, da MPX, com 1 MW, é a maior instalação no Brasil (atualmente sendo duplicada) e as demais instalações, acumulam cerca de 750 kW (ABINEE, 2012).

A ANEEL publicou em agosto de 2011, através da chamada N°.013/2011 denominada de “Arranjos técnicos e comerciais para inserção da geração solar fotovoltaica na matriz energética brasileira” os objetivos aos projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) aplicados às empresas concessionárias de distribuição e geração de energia. Dentre estes se podem destacar a intenção em viabilizar economicamente a produção e instalação da geração solar fotovoltaica para que se torne competitiva frente às demais, além de fomentar a cadeia produtiva da indústria e os serviços com a nacionalização da tecnologia empregada. Segundo este mesmo documento há descrito o seguinte item:

Propor e justificar aperfeiçoamentos regulatórios e/ou desonerações tributárias que favoreçam a viabilidade econômica da geração solar fotovoltaica, assim como o aumento da segurança e da confiabilidade do suprimento de energia.

Tendo em vista estes avanços, foi criado, através do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), o Grupo de Trabalho de Sistemas Fotovoltaicos (GT-FOT) que tem por objetivo estabelecer os requisitos para a etiquetagem dos componentes utilizados em sistemas fotovoltaicos. O documento que rege estes critérios foi publicado pela Portaria INMETRO n°4/2011 e é intitulado “Requisitos de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica”. Após, como citado no Capítulo 2, foi criada a RN 482 que possibilita à micro e minigeração distribuída.

Tendo em vista a necessidade de aprimoramento das normas que regulamentam a atividade, foram criadas com base nas normas International Electrotechnical Commission (IEC) a Norma Brasileira Regulamentadora 16149 (NBR 16149) Sistemas Fotovoltaicos (FV) – características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição e a NBR 16150 Sistemas Fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – procedimentos de ensaio de conformidade.

Apesar destes avanços, Pinho e Galdino (2014) afirmam que o custo de geração do sistema fotovoltaico ainda não é competitivo, o investimento para instalações residências ainda é elevado, as distribuidoras mostram restrições à micro e minigeração por receio de perda de mercado, há falta de políticas específicas de financiamentos e de

modelos de comercialização e, finalmente, os consumidores têm pouco conhecimento sobre a fonte fotovoltaica como opção de geração de energia elétrica.

Estas afirmações são de grande influência no modelo proposto, pois fornecem sustentação a determinadas variáveis.

3.4 HISTÓRICO DAS POLÍTICAS MUNDIAIS RELACIONADAS À ENERGIA FOTOVOLTAICA

Esta seção tem por objetivo apresentar os incentivos e aspectos regulatórios, bem como as políticas governamentais adotadas por outros países. Essas políticas são utilizadas para dar competitividade à energia fotovoltaica frente às demais fontes de geração de energia elétrica. Além disso, pretende-se avaliar o impacto dessas políticas sobre os respectivos mercados.

3.4.1 *Feed-in Tariffs*

Este é um instrumento mundialmente utilizado para dar competitividade à energia gerada por fontes renováveis de energia com relação às demais. *Feed-in Tariffs* ou tarifa-prêmio é um mecanismo ao qual o produtor recebe um preço superior por kWh em relação aos produtores de outras fontes não renováveis ao longo de um determinado período. As tarifas prêmio objetivam acelerar os investimentos em energias renováveis através de contratos de produção de eletricidade tipicamente baseados no custo de geração de cada tecnologia (ABINEE, 2012).

A tarifa-prêmio é uma tendência mundial, sendo utilizada em mais de 50 países. Diversos países estão adotando esquemas mistos, que envolvem tarifas prêmio associadas a medidas de cotas de energia desejadas ou incentivos/subsídios ao mercado (ABINEE, 2012).

3.4.2 Quota Obligation

Neste caso, o governo instituiu o potencial que deverá ser produzido a partir das fontes de micro e minigeração. Dessa maneira, e com o objetivo de meta estabelecido pelo órgão regulador, o prosumidor não tem garantias de que poderá comercializar a energia excedente. Assim pode-se dizer que o *Quota Obligation* estabelece as demandas para as unidades consumidoras.

3.4.3 Net Metering

A *Net Metering* está garantida na RN 482, a qual estipula que a energia gerada e injetada no sistema de distribuição tem um prazo de até 36 meses para ser consumida. Assim, o potencial desta instalação, do ponto de vista do prosumidor, é limitado à carga instalada. Neste caso, ainda pode-se ressaltar, que não haverá penalidades para o prosumidor devido a intermitência na geração de energia elétrica.

3.4.4 Histórico das políticas relacionadas à Energia fotovoltaica na Alemanha

Até meados da década de 90, o sistema elétrico alemão era abastecido e dominado basicamente por usinas a carvão e usinas nucleares. Essas concessionárias faziam oposição a todas as formas de geração descentralizadas e de pequeno porte (MME, 2009).

Embora não houvesse aplicação para a energia solar fotovoltaica por não ter competitividade econômica, houve um grande avanço e desenvolvimento de diversos projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), moldando assim, a base tecnológica. Em 1978 foi fundada a Associação das Indústrias de Energia Solar e, em 1977, no auge da controvérsia anti-nuclear, foi fundado o Instituto de Ecologia (Öko-Institut), para prover contra argumentações e propostas nas batalhas com o governo e concessionárias. Em 1986 surge a Förderverein Solarenergie (SFV) que desenvolveu o conceito de “pagamento para cobertura de custo” para a eletricidade gerada por Fontes Renováveis de Energia (FRE) (MME, 2009).

Em meio ao acidente de Chernobyl, em 1986, e o relatório da Sociedade Alemã de Física avisando a iminente catástrofe climática em 1987, o governo alemão publica dois programas com o objetivo de formar o mercado das energias renováveis. O primeiro era referente à instalação de um potencial de 100 MW em energia eólica. A segunda medida foi o programa de 1.000 telhados solares fotovoltaicos. Além disso, a estrutura legal para tarifas do setor elétrico foi modificada de forma a permitir uma remuneração apropriada à energia elétrica gerada por FRE (MME, 2009).

Em 1990 é aprovada a regulamentação da inserção da energia gerada por fontes renováveis à rede elétrica. Conhecida como *Electricity Feed-in Law*, foi inicialmente discutida para Pequenas Centrais Hidroelétricas (PCH), sendo ampliada para as diversas fontes renováveis. A *Feed-in Law* obrigou as concessionárias a conectarem à rede geradores que utilizam FRE e a comprarem a energia gerada a uma tarifa-prêmio que, para eólica e fotovoltaica, chegava a 90% da tarifa média cobrada dos consumidores finais (MME, 2009). Quando as energias renováveis começaram a ser mais expressivas, as concessionárias iniciaram uma resposta no âmbito jurídico e político. Em 1997, a proposta do governo de reduzir as taxas de *feed-in* levou a passeatas e protestos públicos que uniram trabalhadores, fazendeiros e grupos ligados à igreja, além de associações de defesa do meio ambiente e do setor solar e eólico (MME, 2009). O governo não conseguiu aprovar a proposta e esta foi incluída no código de reforma do setor energético de 1997.

Com a perspectiva da aprovação do projeto desenvolvido pela Eurosolar para a construção de 100.000 telhados solares, foram criadas duas novas produtoras de células solares com previsão de início de operação em 1998. Em janeiro de 1999 o Programa 100 mil telhados solares foi iniciado (sua meta de 350 MWp é atingida em 2003), oferecendo também subsídios na forma de baixas taxas de juros aos investidores (MME, 2009).

Finalmente no ano de 2000, o código das fontes renováveis de energia foi aprovado e, dentre suas principais determinações destaca-se a aplicação da tarifa-prêmio. As justificativas para o emprego desta foram diminuir os altos custos unitários e baixo volume de produção das FRE, incentivar a geração de energia sustentável e desafogar o orçamento do governo que mantinha o antigo sistema de subsídio. A partir deste código, a Alemanha se tornou a líder mundial em telhados solares. A instalação de

novos sistemas fotovoltaicos caiu drasticamente na metade de 2003, pois a tarifa-prêmio paga pela energia gerada por tecnologia fotovoltaica já não se mostrava financeiramente atrativa para os investidores (MME, 2009).

Tendo em vista a reversão deste quadro, são lançadas medidas para a reformulação das tarifas. O Quadro 3 mostra como foi abordada a reformulação da tarifa-prêmio para novamente incentivar os consumidores a implantar o sistema de geração fotovoltaico conectado a rede.

Quadro 3: Tarifas-prêmio pagas a instalações fotovoltaicas integradas a edificações e interligadas à rede elétrica pública na Alemanha (centavos de Euro por kWh gerado).

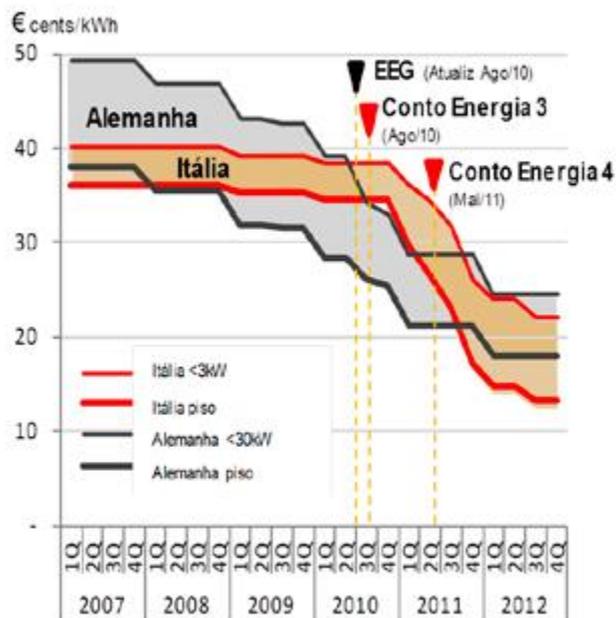
Ano de Entrada no programa	Potência Instalada			
	até 30kWp	>30kWp a 100kW	>100kWp até 1.000kWp	>1.000kWp
	Percentual de redução anual da tarifa-prêmio			
	-8% em 2009/2010, -9% a partir de 2011	-8% em 2009/2010, -9% a partir de 2011	-10% em 2009/2010, -9% a partir de 2011	-25% em 2009, -10% em 2010, -9% a partir de 2011
	Tarifa-prêmio (centavo de euro por kWh gerado)			
2008	46,75	44,87	43,99	43,99
2009	43,01	40,91	39,58	33,00
Continuação do Quadro 3				
Ano de Entrada no programa	Tarifa-prêmio (centavo de euro por kWh gerado)			
2010	39,57	37,64	35,62	29,70
2011	36,01	34,25	32,42	27,03
2012	32,77	31,17	29,50	24,59
2013	29,82	28,36	26,84	22,38
2014	27,13	25,81	24,43	20,37
2015	24,69	23,49	22,23	18,53

Fonte: Ministério de Minas e Energia (2009).

Os contratos são de longa duração, 20 anos, e existem diferenças nas tarifas com base no tamanho e na aplicação do projeto (ABINEE, 2012).

Para ilustrar, a Figura 4 apresentada as tarifas *feed-in* para a Alemanha e Itália.

Figura 4: Tarifas feed-in para Alemanha e Itália.



Fonte: ABINEE (2012).

Após a adoção do mecanismo de tarifas prêmio, a Alemanha se tornou, rapidamente, um dos principais mercados para a indústria fotovoltaica no mundo (superada pela Itália em 2011, embora esse movimento não deva se repetir em 2012, pois a Itália vem cortando mais fortemente as tarifas prêmio) (ABINEE, 2012).

A ampliação do mercado fotovoltaico tem permitido também a redução contínua no preço de sistemas fotovoltaicos, o que representou uma queda de quase 16% no custo dessa tecnologia entre junho de 2006 e dezembro de 2008 (MME, 2009). A opção da Alemanha pelo mecanismo com contratos longos e a adoção de regras claras para redução de preços pagos ao investidor foi fundamental para constituir o nível de estabilidade necessário para permitir o aumento do número de investimentos no setor (ABINEE, 2012).

Neste Contexto otimista e com as indústrias consolidadas, o preço dos módulos fotovoltaicos foram reduzidos em 50% entre os anos de 2007 e 2012. Esta redução está relacionada ao ganho de produção em larga escala e o desenvolvimento tecnológico possibilitado.

3.4.5 Histórico das políticas relacionadas à Energia fotovoltaica na Espanha

A Espanha tinha, em fins de 2008, 3,35GWp de capacidade fotovoltaica instalada, sendo mais de 99% conectado à rede (MME, 2009). A Espanha inicialmente incentivou a instalação de grandes centrais, que foram desenvolvidas em uma escala considerável por conta da alta rentabilidade garantida pelo marco regulatório vigente na época para este tipo de projeto (MME, 2009). Porém, com o passar do tempo, estes incentivos se apresentaram ineficientes pelo alto custo de instalação, manutenção e transmissão e assim o governo iniciou o incentivo aos pequenos sistemas. A partir deste instante, há quatro marcos a se destacarem na evolução do mecanismo regulatório, os quais estão descritos no Quadro 4.

Quadro 4: Principais políticas na evolução do mecanismo regulatório espanhol.

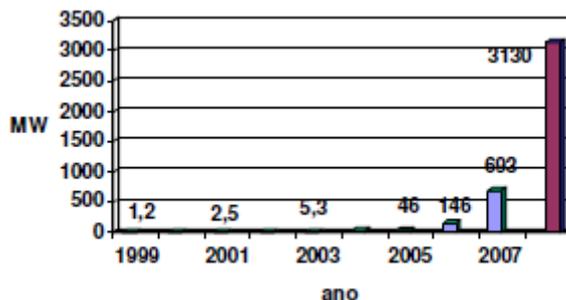
Documento	Objetivo	Aspectos relevantes	Resultados
REAL DECRETO 2818/1998	Definição do regulamento de produção de energia elétrica abastecidas por recursos ou fontes de energias renováveis, resíduos e cogeração.	Direito de vender o excedente; Complementação com tarifa prêmio e/ou incentivo a um preço fixo.	Não houve desenvolvimento significativo, já que havia grande incerteza na regulamentação.
REAL DECRETO 436/2004	Estabelecer a metodologia do regime jurídico e econômico para a produção de energia elétrica em regime especial.	Estabeleceu a Tarifa Média de Referência (TMR) para o cálculo de tarifas; Há dois regimes econômicos: • Ceder a eletricidade à distribuidora de EE; • Vender a energia gerada livremente no mercado.	Houve uma grande expansão do setor. Criação de 26.800 empregos direto e indiretos.
REAL DECRETO 661/2007	Regulamentar a atividade de produção de energia elétrica em regime especial.	As instalações em edificações estavam isentas de avais. As instalações que ocupam terreno dedicado à produção de eletricidade devem pagar 500 euros por kW.	Há uma estagnação na solicitação de novos pontos de conexão devido a incorporação de avais.

Continuação do Quadro 4			
Documento	Objetivo	Aspectos relevantes	Resultados
REAL DECRETO 1578/2008	Estabelece a retribuição de produção de energia elétrica fotovoltaica.	Estabelece novas regras para as tarifas prêmios.	Há uma nova redução (3.000 MW/ano para 500MW/ano). Há uma nova busca por redução de custos e ajuste da rentabilidade.

Fonte: O autor.

Na Figura 5 pode ser observado o avanço em potência instalada devido aos marcos regulamentares.

Figura 5: Potência anual instalada em sistemas fotovoltaicos.



Fonte: Ministério de Minas e Energia (2009).

Nas atualizações do regime econômico espanhol dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede houve um descontrole com a instalação de grandes centrais devido à alta rentabilidade oferecida aos grandes investidores (MME, 2009).

4 CONCEITOS DE DINÂMICA DE SISTEMAS

O conceito de Dinâmica de Sistemas (DS) foi concebido por Jay Forrester e consolidada em 1961 com a publicação do livro *Industrial Dynamics*. Posteriormente, Peter Senge, engenheiro formado em Stanford e orientado de Forrester, trabalhou na década de 70 na realização de seminários com executivos, introduzindo a prática do pensamento sistêmico dinâmico no seio das grandes organizações (VILLELA, 2005).

Dinâmica de Sistemas é uma ferramenta que tem como objetivo identificar as variações de um sistema ao longo do tempo. Esta abordagem tem como principal premissa o fato de que o comportamento de um sistema é determinado por sua estrutura interna (MEDEIROS JÚNIOR; OLIVEIRA; SOUZA; ANEZ, 2006). Para isso, é necessário observar como se estabelece a interação entre as variáveis do sistema. Desta forma se pode analisar a evolução ao longo do tempo, testar os diferentes tipos de comportamento que o sistema real pode experimentar, tornando viável a identificação e avaliação de melhorias potenciais, através da adoção de um ou mais pontos de alavancagem (FERNANDES, 2003).

A adaptação dos métodos da engenharia de controle à abordagem de DS visa permitir sua aplicação a problemas econômicos e sociais de elevada complexidade, uma representação visual das equações algébricas e diferenciais, que caracterizam a estrutura de sistemas, e a possibilidade de visualização, também, do comportamento dinâmico dos sistemas, através de métodos similares aos usados na análise de sistemas técnicos (SCHUCH, 2000).

De acordo com SENGE (1990), o paradigma convencional, de dividir os sistemas em partes e estudar essas partes isoladamente, pode não ser a melhor técnica para análise de sistemas. As conexões e interações são, normalmente, mais importantes. A DS representa um avanço na análise de problemas, pois explicita e modela os mecanismos de realimentação entre as partes.

Portanto a DS deve buscar construir um modelo representativo do sistema, para que se tenha uma simulação real e possível do seu comportamento ao longo do tempo, podendo dessa forma, avaliar abordagens de ordem política. Quando novas informações são geradas, é possível se avaliar qual o impacto da decisão passada no sistema em questão (FERNANDES, 2003). A modelagem da DS está orientada para mapear a estrutura, e por intermédio da simulação, verificar o impacto das decisões, e testar

diferentes políticas e soluções para operação do sistema (MEDEIROS JÚNIOR; OLIVEIRA; SOUZA; ANEZ, 2006).

Segundo Schuch (2000), há diversas facilidades que são oferecidas pela DS, dentre essas, se destaca a possibilidade de tratar aspectos de longo e curto prazo em um mesmo modelo; a representação completa de relações complexas e não-lineares; a possibilidade de representar variáveis sociais e psicológicas; e a facilidade com que os efeitos de alternativas políticas podem ser testados.

As próximas seções deste Capítulo têm por objetivo orientar e apresentar ao leitor a metodologia empregada na análise, modelagem e simulação do modelo proposto.

4.1 CONHECIMENTO DO SISTEMA

Um sistema pode ser caracterizado por seu estado, que é o conjunto de propriedades relevantes em um dado período. As variáveis externas devem também ser consideradas, pois as mudanças no ambiente externo podem induzir alterações no estado do sistema (SCHUCH, 2000).

Radzicki (1997) define um modelo como uma representação externa e explícita de parte da realidade percebida pela pessoa que deseja usar aquele modelo para entender, mudar, gerenciar e controlar parte daquela realidade. Dessa maneira, se devem definir os objetivos do modelo desejado. Portanto, para se construir um sistema real busca-se o reconhecimento dos fatores que exercem influência significativa em seu comportamento.

Assim, esta primeira etapa consiste em listar todas as variáveis que são significativas ao sistema, sempre em vista dos objetivos procurados.

4.2 ESPECIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO DINÂMICO

Tendo sido realizada a compreensão do sistema, deve-se definir com precisão e descrever os aspectos do problema de forma clara, concisa e precisa. Este passo envolve a descrição do comportamento dinâmico a ser estudado. A partir dessa descrição do comportamento temporal das principais variáveis de interesse deverá ser estimado um gráfico, o qual é dito Modo de Referência, e serve como uma imagem aproximada dos gráficos que deverão ser obtidos a partir do modelo principal (ROJASRIVERO; PERDOMO; BARÓN, 2014).

Compreende a caracterização da dinâmica do problema, ou seja, a evolução da principal variável do modelo ao longo do tempo, por meio de um gráfico, cujo eixo temporal seja suficientemente longo para identificar o comportamento dinâmico, capturando os efeitos tardios e indiretos das políticas institucionais (RAIMUNDINI; BORENSTEIN, 2012).

Se o fenômeno possui algum histórico, o modo de referência deverá ser representado considerando o comportamento histórico registrado, o qual é o que se deseja reproduzir com o modelo. Caso sejam modeladas situações futuras, o modo de referência é mais genérico, porém deverá ser capaz de abranger, através das correspondentes variações dos parâmetros, o comportamento a ser verificado pelo modelo (ROJASRIVERO; PERDOMO; BARÓN, 2014).

Complementando, esta etapa inclui também o desenvolvimento da hipótese dinâmica (RAIMUNDI, 2013). Segundo Stermann (2000), a hipótese dinâmica compreende o mapa mental que explica a dinâmica do problema, caracterizando o modo de referência.

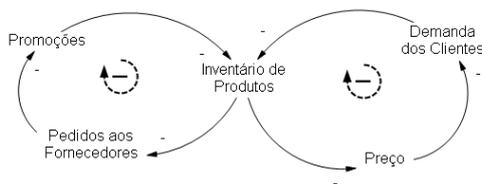
Como em uma empresa, onde os funcionários mais experientes conseguem prever como será o comportamento de um determinado evento, é essencial na Dinâmica de Sistemas que se tenha o modo de referência para que se possa embasar e validar os resultados encontrados.

4.3 MODELO TEÓRICO – DIAGRAMA DE LAÇO CAUSAL

Nesta etapa, às variáveis do modelo já são conhecidas e se torna necessário realizar as relações entre estas. É essencial identificar e definir as características do sistema, determinando as relações causa-efeito e as estruturas de realimentação. Tal tarefa utiliza a técnica dos chamados Diagramas de Laço Causal (DLC), os quais são diagramas de natureza qualitativa que possibilitam uma maior compreensão do comportamento do sistema devido à simplicidade com que seus elementos e a interação entre eles são representados de maneira estruturada (ANDRADE, 1997).

De acordo com Sterman (2000), os diagramas de laço causal cumprem um importante papel na modelagem dos sistemas por servir como um esboço das hipóteses causais e possibilitar que os pressupostos estruturais dos sistemas sejam explicitamente comunicados. Na Figura 6 é apresentado, um exemplo das relações causais entre às variáveis de interesse, explicitando o laço de realimentação entre as mesmas.

Figura 6: Abordagem Qualitativa - Diagrama de Laço Causal.



Fonte: Fauffman (1981).

Pode-se identificar três tipos de ligações em um DLC, as quais são citadas a seguir:

- **Ligação Causal:** É a influência direta de uma variável sobre a outra (causa-efeito). Sua representação no DLC é indicada por uma seta que sai da variável causal e chega à variável afetada. Na ponta da seta é indicada se a relação é de reforço (+) ou de equilíbrio (-);
- **Corrente Causal:** Uma variável será causal quando afetar uma outra variável, porém, ela torna-se uma variável afetada se for influenciada por uma terceira variável (SCHUCH, 2000);

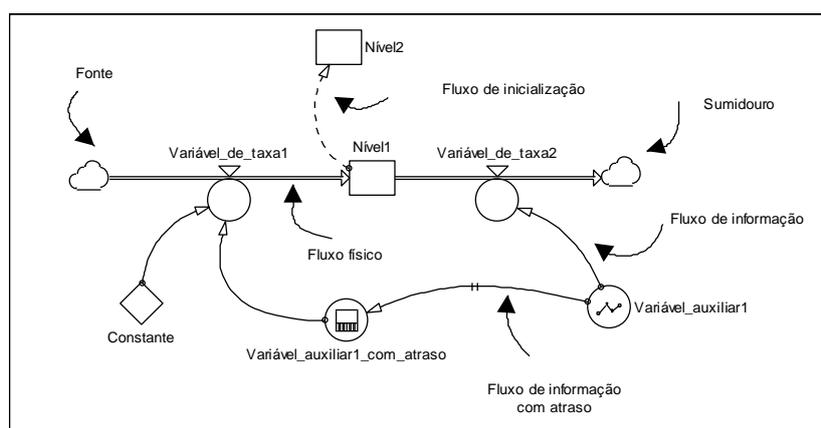
- **Laço Causal:** Os sistemas reais possuem características de realimentação onde as variáveis afetadas podem influenciar as variáveis causais, representando uma sucessão de relações causa-efeito circulares (SCHUCH, 2000). Para verificar se a realimentação é positiva ou negativa, faz-se necessário identificar as ações que o originam. Com isto, basta verificar a quantidade de relações negativas. Se o número de relações for ímpar, o enlace é do tipo equilíbrio, se o número de relações for par, o laço é do tipo reforço.

4.4 MODELO COMPUTACIONAL – DIAGRAMA DE ESTOQUE E FLUXO

O modelo computacional tem por objetivo transformar a análise qualitativa realizada até então no Capítulo 4 em uma análise quantitativa. Para isso, é utilizada a técnica de Diagrama de Estoque e Fluxo (DEF).

Os estoques e fluxos são responsáveis por retardos; eles dão inércia e memória aos sistemas; eles podem ampliar ou atenuar distúrbios; e são fundamentais na formulação dinâmica produzida por sistemas (SENGE, 1990). Para este tipo de análise há símbolos padronizados, conforme é apresentado na Figura 7, os quais são explicados a seguir.

Figura 7: Símbolos para DEF.



Fonte: Schuch (2000).

- Níveis: As variáveis de nível são representadas por um retângulo. Todas as equações de níveis envolvem integrações e só podem ser conectados a outras variáveis por intermédio de uma variável de taxa. Dentro de cada variável de nível há uma equação que a representa;
- Taxas: As variáveis de taxa (derivadas) são representadas por uma válvula. Estas variáveis controlam as taxas com que as variáveis de níveis se alteram, e podem receber entrada de constantes, variáveis auxiliares e variáveis de nível. Dentro de cada variável de taxa há uma equação que a representa;
- Auxiliares: As variáveis auxiliares são representadas por um círculo. Estas variáveis controlam as variáveis de taxa. Dentro de cada variável auxiliar há uma equação que a representa;
- Constantes: As constantes são representadas por um losango e possui um valor inalterado durante todo o intervalo de simulação;
- Linhas de Fluxo: As linhas de fluxo podem ser divididas em fluxos conservativos (físicos) e fluxos não conservativos (informação). Os fluxos físicos representam quantidades conservativas, que podem ser movidas de um lugar para outro no sistema. Os fluxos de informação, não conservativos, que realizam a interconexão entre os fluxos físicos, ou seja, auxiliam na tomada de decisão. As linhas pontilhadas representam fluxos de inicialização de variáveis de nível, as linhas cheias para os fluxos de informação e as linhas duplas para os fluxos físicos (SCHUCH, 2000);
- Atraso: O atraso é representado por dois traços que cortam as linhas de fluxo. Tem por objetivo atrasar a influência de uma variável na outra;
- Retirada da informação: É representada por quatro arestas desenhadas ao redor da variável a qual foi retirada a informação. Este recurso não altera a informação da variável, apenas é utilizado para otimizar a representação gráfica;
- Fontes e Sumidouros: São representados por uma nuvem. A fonte (origem) e o sumidouro (destino) representam os limites do modelo.

4.5 ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS

De acordo com Forrester (1980), a identificação e definição dos parâmetros advêm de dados mentais (experiência e observação), dados escritos e dados numéricos (RAIMUNDINI, 2013). Os dados numéricos podem ser tratados por meio de técnicas

estatísticas (média, desvio padrão e correlação), enquanto os dados mentais e os dados escritos podem ser tratados por meio de técnicas qualitativas, que muitas vezes são consideradas arbitrárias (STERMAN, 2000). Esse mesmo autor comenta que as duas técnicas devem ser utilizadas conjuntamente porque, omitir a estimativa de valores dos parâmetros que não tenham dados numéricos é equivalente a assumir que esses parâmetros tenham valor zero (RAIMUNDINI, 2013).

4.6 SIMULAÇÕES

Sua finalidade é executar o modelo de simulação e comparar com o modo de referência, sendo a primeira oportunidade de testar o modelo (RAIMUNDINI; BORENSTEIN, 2012).

Se o resultado da simulação computacional corresponder ao modo de referência significa que o modelo é válido. Caso contrário, é necessário voltar nas etapas precedentes para realizar as correções e os ajustes necessários (RAIMUNDINI, 2013).

4.7 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade permite estudar a estabilidade da solução em função da possível variação dos seus parâmetros, permitindo detectar a relevância dos dados. De modo geral, a análise de sensibilidade é utilizada para: (1) tomar melhores decisões, (2) decidir quais dados estimados devem ser refinados antes de tomar uma decisão e, (3) concentrar-se nos elementos críticos durante a implementação (ESCHENBACH, 1999).

Por outro lado a análise de sensibilidade pode ser realizada considerando dois aspectos: (a) examinando o impacto de mudanças *in base-case assumptions*. Por exemplo, a sensibilidade do valor da variável dependente devido à mudanças dos valores das variáveis independentes, e (b) examinando o impacto do valor do *pay-off* devido à mudanças dos valores das probabilidades de ocorrência dos eventos aleatórios num problema de análise de decisão (SILVA; BELDERRAIN, 2005).

Para se utilizar este método de análise deve-se atentar para os valores assumidos pelas variáveis independentes; a sensibilidade dessas mudanças no resultado final; e a maior variação do resultado final pelo impacto das variáveis independentes.

As seguintes etapas devem ser realizadas para o teste de sensibilidade:

- Selecionar os parâmetros ou grupos de parâmetros que se considera que mais afetam o comportamento do modelo;
- Modificar os valores de cada grupo separadamente a partir de uma certa porcentagem (por exemplo, mais 10% ou mais 25%) de cada vez e ir executando as simulações;
- Identificar aqueles parâmetros que, quando modificados, afetam significativamente o comportamento do modelo;
- Analisar se as mudanças de comportamento são justificáveis a partir da teoria ou do senso comum.

4.8 TESTE DE POLÍTICAS

O teste de políticas abrangem o processo de tomada de decisão e a avaliação de conteúdo, bem como dos seus impactos sobre a resposta do modelo. O processo de elaboração de políticas públicas envolve uma fase na qual é preciso compreender a realidade na qual se pretende atuar e definir o problema a ser enfrentado, a partir da formulação de um modelo causal que consiste em hipóteses e pressupostos sobre determinados fenômenos sociais (DROR, 1983; HOGWOOD e GUNN, 1984; BARDACH, 1998).

Essas políticas constituem muitas vezes as bases para definição de planos de ação que estabelecem as diretrizes para programas, que por sua vez, são implementados na forma de projetos (ALVEZ, 2008). Dessa maneira, se verificam as políticas necessárias a fim de chegar ao objetivo proposto.

5 MODELO PROPOSTO

Neste capítulo são apresentadas detalhadamente as etapas para a construção do modelo, seguindo os critérios definidos no Capítulo 4.

5.1 CONHECENDO O SISTEMA

Nesta etapa inicial começa-se definindo o objetivo do modelo proposto e buscam-se os fatores que sejam significantes em seu comportamento. O objetivo do modelo foi descrito na seção 1.3, portanto, a seguir são apresentadas as variáveis utilizadas para construir o modelo.

- **Potencial:** O primeiro critério a ser avaliado no estudo de viabilidade de um projeto fotovoltaico é a disponibilidade do recurso primário de energia, a radiação solar (ABINEE, 2012);
- **Regulamentação:** A disponibilidade energética estimula a criação de uma regulamentação que possa estimular ou inviabilizar a implementação da micro e minigeração;
- **Incentivos:** Os incentivos são uma forma de atrair e alavancar a micro e minigeração;
- **Valor da Tarifa de Compra de Energia Elétrica:** Pode tornar a instalação fotovoltaica mais ou menos atrativa dependendo de sua evolução ao longo do tempo;
- **Valor da Tarifa de Transporte de Energia Elétrica:** Pode tornar a instalação fotovoltaica mais ou menos atrativa dependendo de sua evolução ao longo do tempo. Já existem subsídios nesta tarifa, conforme apresentado no Capítulo 2;
- **Fatura de Energia Elétrica:** O valor da Fatura de Energia Elétrica é composto dentre outros, pela Tarifa de Compra e Tarifa de Transporte e pode aumentar ou reduzir a Decisão do Consumidor;
- **Produção de Equipamentos de Fontes Renováveis:** Com o estímulo à micro e minigeração poderão surgir empresas de produção dos equipamentos que alimentem esse mercado e, sua consequência se daria

na redução de preços (curva da Oferta x Demanda), conforme descrito no Capítulo 3;

- **Empresas de Serviços de Fontes Renováveis:** Com o estímulo à micro e minigeração deverão surgir empresas de prestação de serviços que alimentem esse mercado e, sua consequência se daria na redução de preços (curva da Oferta x Demanda), conforme descrito no Capítulo 3;
- **Custo de Implementação:** É o custo necessário para construir o sistema Fotovoltaico;
- **Custo de Operação:** É o custo necessário para a operação do sistema;
- **Custo de Manutenção:** É o custo necessário para que o sistema fique em operação;
- **Tecnologia:** Seu avanço tem como consequência a redução dos preços e no aumento do rendimento do sistema, conforme exemplificado no Capítulo 3;
- **Vida Útil:** Tempo de vida de funcionamento do sistema de micro e mini geração de energia elétrica;
- **Tempo de Retorno do Investimento:** Tempo necessário para retornar o valor investido;
- **Publicidade:** Pode motivar os consumidores a implementar a micro e minigeração;
- **Renda:** Verificar a parcela de consumidores em potencial;
- **Conforto:** Critério relevante a Decisão do Consumidor;
- **Confiabilidade de Energia Elétrica:** Fatores como a Duração Equivalente de interrupção por unidade Consumidora (DEC) e a Frequência Equivalente de interrupção por unidade Consumidora (FEC) podem influenciar na Decisão do Consumidor em obter uma fonte alternativa de energia;
- **Consciência Ecológica:** Representa a atenção em gerar energia de forma sustentável;
- **Nível de Escolaridade:** Visto que os conceitos de sustentabilidade e de consciência ecológica são amplamente difundidos nas escolas e nas universidades brasileiras (FARIA, 2014), utilizou-se este parâmetro como balizador para estimar a Consciência Ecológica;

- **Aspectos Culturais:** Representa a resistência que os brasileiros, em geral, têm em relação ao uso de fontes renováveis de pequeno porte;
- **Decisão do Consumidor:** Este fator representa a parcela da população que possui as condições necessárias para optar pela implementação da micro e minigeração.

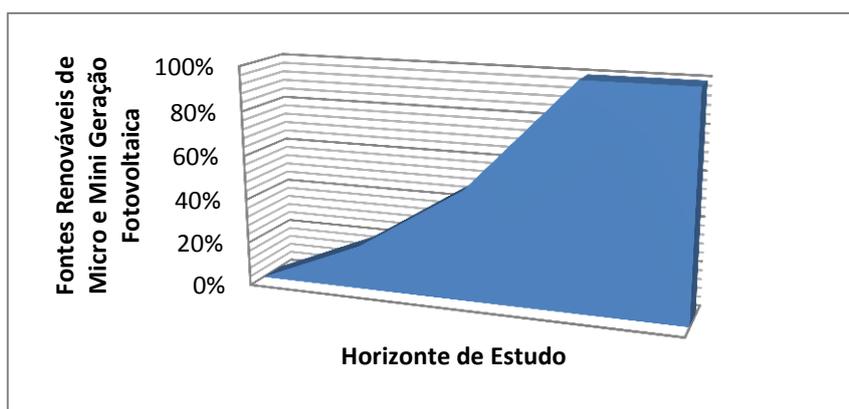
5.2 DETERMINAÇÃO DO MODO DE REFERÊNCIA

Esta fase consiste na criação do Modo de Referência (MR). O MR deve ser cunhado descrevendo o comportamento temporal das principais variáveis do sistema, servindo como um conceito aproximado da resposta que será obtida através do modelo desenvolvido.

Segundo Raimundini (2012), o modo de referência compreende a caracterização da dinâmica do problema, ou seja, a evolução da principal variável do modelo ao longo do tempo, por meio de um gráfico, cujo eixo temporal seja suficientemente longo para identificar o comportamento dinâmico, capturando os efeitos tardios e indiretos das políticas institucionais.

Na Figura 8 é apresentado o MR do modelo aqui desenvolvido, considerando a variável de maior importância dentro do modelo, a qual é destacada no gráfico.

Figura 8: Modo de Referência.



Fonte: O autor.

As variáveis destacadas que poderão fazer com que o modo de referência se consolide são os avanços na regulamentação e na publicidade que podem estimular os

consumidores; a criação de incentivos, como a tarifa prêmio, os quais podem impulsionar a implementação das fontes de micro e minigeração; a redução dos impostos incidentes sobre a fatura de energia elétrica e equipamentos e serviços prestados; e a uma mudança de cultura da população, desenvolvendo um pensamento sustentável. É importante salientar que, este percentual é relativo às unidades consumidoras que possuem renda média superior a 10 salários mínimos.

5.3 DIGRAMA DE LAÇO CAUSAL

A próxima etapa do processo de construção do modelo é analisar como se dá a relação causo-efeito de forma qualitativa entre as variáveis que compõem o sistema. Para que o DLC do modelo proposto (Figura 10) seja apresentado de forma didática, criou-se um submodelo, denominado Decisão do Consumidor (Figura 9), que compõe o DLC.

Figura 9: Submodelo - Decisão do consumidor.



Fonte: O autor.

Na Figura 9 verificam-se os fatores predominantes que influenciam e auxiliam de maneira predominante a Decisão do Consumidor. Neste diagrama podem ser observadas a Ligação Causal da Renda, Publicidade, Cultura e Confiabilidade de E.E. com a Decisão do Consumidor; além disso, tem-se as Correntes Causais que são a ligação da Renda e da Confiabilidade de E.E. agindo no Conforto, que por sua vez atua sobre a Decisão do Consumidor e a Escolaridade que gera uma mudança na Consciência Ecológica, contribuindo também para a Decisão do Consumidor.

Na Figura 10 é exibido o DLC em que se apresentam as demais variáveis pertinentes ao modelo e que foram detalhadas na seção 5.1.

Na Figura 10 tem-se as mesmas relações causais descritas, além de serem observados o Laço Causal 1, o Laço Causal 2 e um Atraso que se origina na Fatura de Energia Elétrica e influencia a Decisão do Consumidor após certo tempo. Analisando o Laço 1 tem-se que esta é uma realimentação positiva e analisando o Laço 2 tem-se que é uma realimentação negativa. A fim de apresentar melhor o comportamento dinâmico deste modelo, é analisado separadamente cada laço, com o objetivo de mostrar sua contribuição na análise do problema.

No Laço Causal 1 (Figura 11), têm-se que com o maior cuidado e, conseqüentemente, maiores gastos com manutenção dos equipamentos há um aumento da Vida Útil. O aumento da Vida Útil dos equipamentos induz a uma maior necessidade de manutenções.

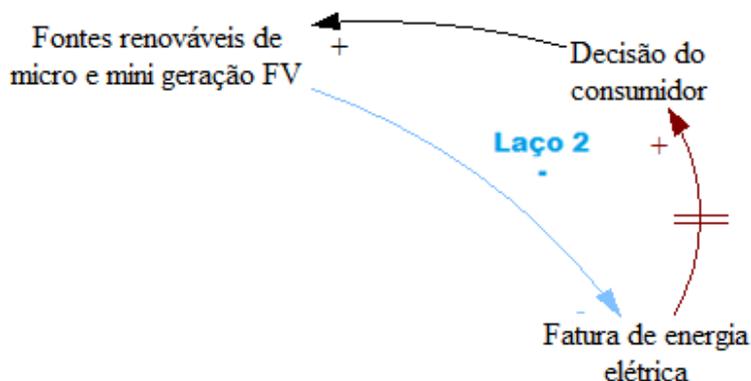
Figura 11: Laço Causal 1.



Fonte: O autor.

O Laço Causal 2 (Figura 12) é de grande importância, pois é responsável por causar a estabilidade do sistema. Além disso, o atraso representado se deve à necessidade de um tempo para que o consumidor, após receber a fatura de E.E. com valor maior, possa tomar sua decisão de investir ou não em fontes de mini ou microgeração fotovoltaica.

Figura 12: Laço Causal 2.

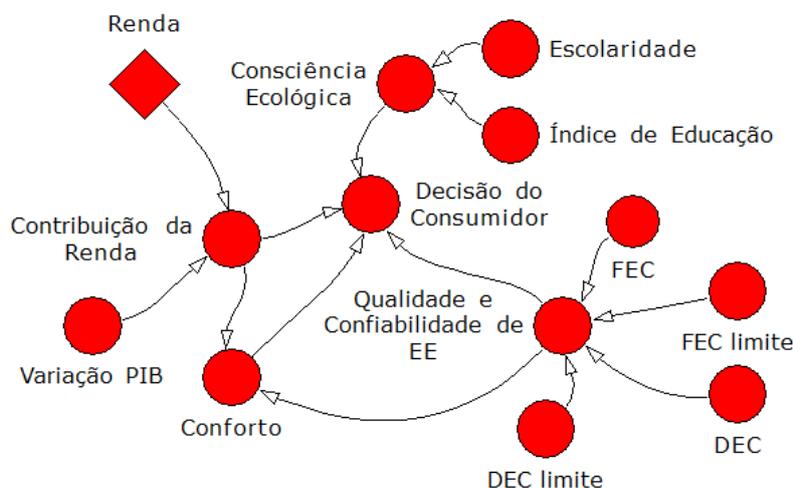


Fonte: O autor.

5.4 MODELO COMPUTACIONAL DESENVOLVIDO

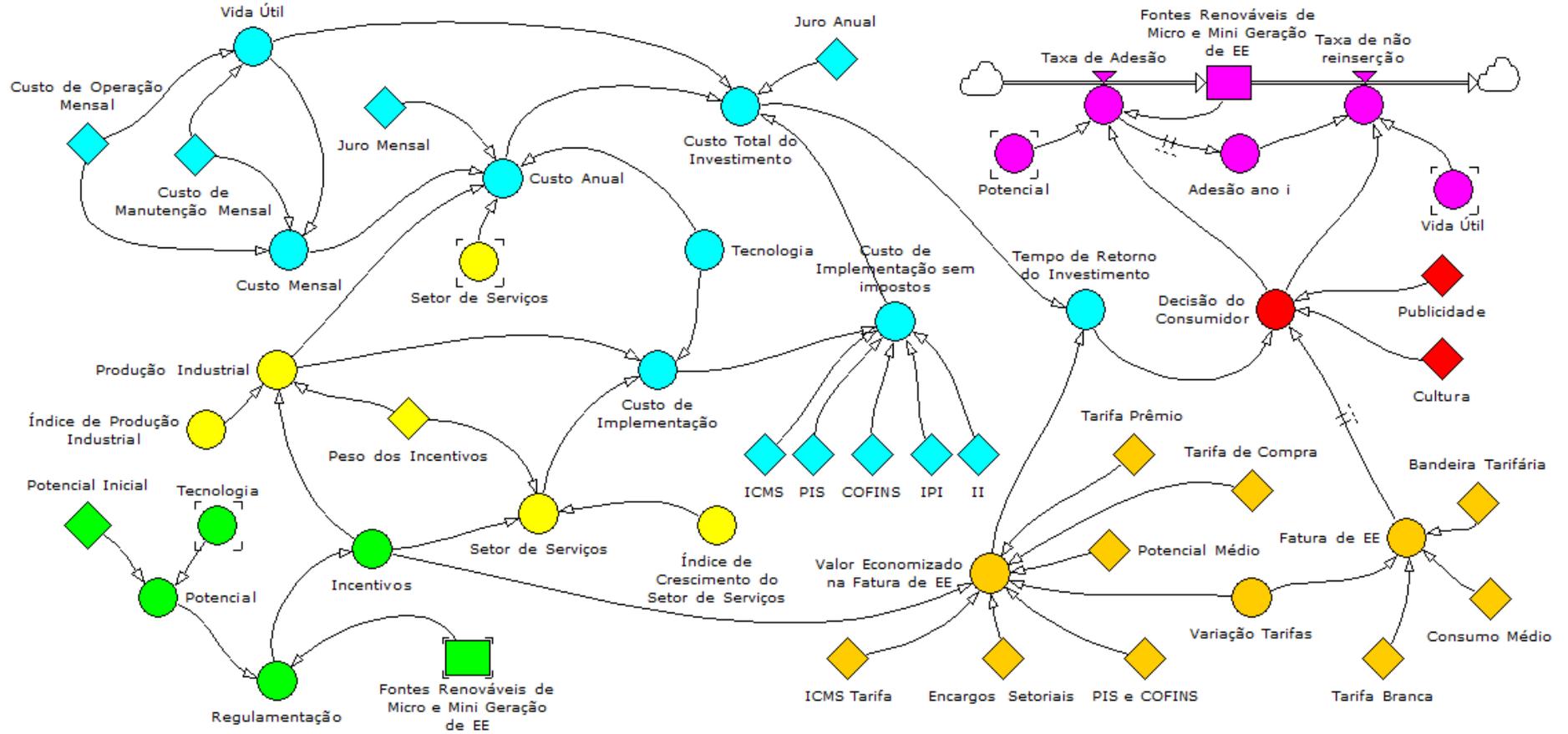
Nesta etapa faz-se necessário a utilização de um programa que possua ferramentas capazes de simular os efeitos da interação entre as variáveis ao longo do tempo. Neste estudo foi utilizado o *software* Powersim versão 10, por possuir uma interface amigável com o usuário, facilitando a construção do modelo e auxiliando na análise de tomada de decisões. Na Figura 13 é apresentado o submodelo computacional referente à decisão do consumidor, e na Figura 14 é apresentado o modelo completo.

Figura 13: Submodelo Computacional - Decisão do Consumidor.



Fonte: O autor.

Figura 14: Modelo Computacional Completo.



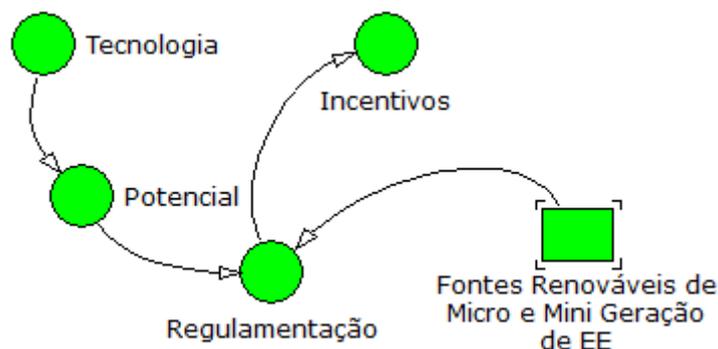
Fonte: O autor.

Nas seções 5.4.1 à 5.4.6 são explicadas as funções de cada variável, bem como a análise matemática desenvolvida. Para facilitar o entendimento, o modelo foi separado em etapas, classificadas por ordem de abrangência dos assuntos.

5.4.1 Potencial, regulamentação e incentivos

As variáveis que compõem o submodelo computacional relacionado ao potencial, regulamentação e incentivos são apresentadas na Figura 15.

Figura 15: Submodelo computacional - Potencial, regulamentação e incentivos.



Fonte: O autor.

A variável Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de EE (FRMMG) é uma cópia da variável original, ou seja, não altera a informação da variável, sendo apenas utilizada para otimizar a representação gráfica. Esta variável é apresentada na subseção 5.4.6. A variável “Tecnologia” (Tec) assume um valor a cada ano, conforme é descrito na subseção 5.5.

As variáveis Potencial (PO), Regulamentação (RE) e Incentivos (IC) são variáveis auxiliares responsáveis por relacionar os valores recebidos. As respectivas equações e suas unidades serão apresentadas nas Equações (1), (2) e (3).

$$PO = 590703000kWh * Tec \text{ [kWh]} \quad (1)$$

A quantidade de Potencial disponível depende da evolução da tecnologia com relação ao rendimento dos equipamentos e o valor atual do potencial que se encontra disponível para a utilização, o qual é apresentado na seção 5.5.

$$RE = \begin{cases} 0,05905, & \text{FRMMG} < 50\% \times PO \\ 0,029525, & \text{FRMMG} \geq 50\% \times PO \end{cases} \text{ [adimensional]} \quad (2)$$

A Regulamentação tem como proposta incentivar a implementação da micro e mini geração de fontes renováveis até o momento em que se tenha um patamar razoável de aceitação (50% do valor do potencial disponível). Após esse instante há um decréscimo desta proposta. Esta sugestão foi utilizada baseada em fatos ocorridos no mercado alemão de sistemas fotovoltaicos, conforme descrito no Capítulo 3.

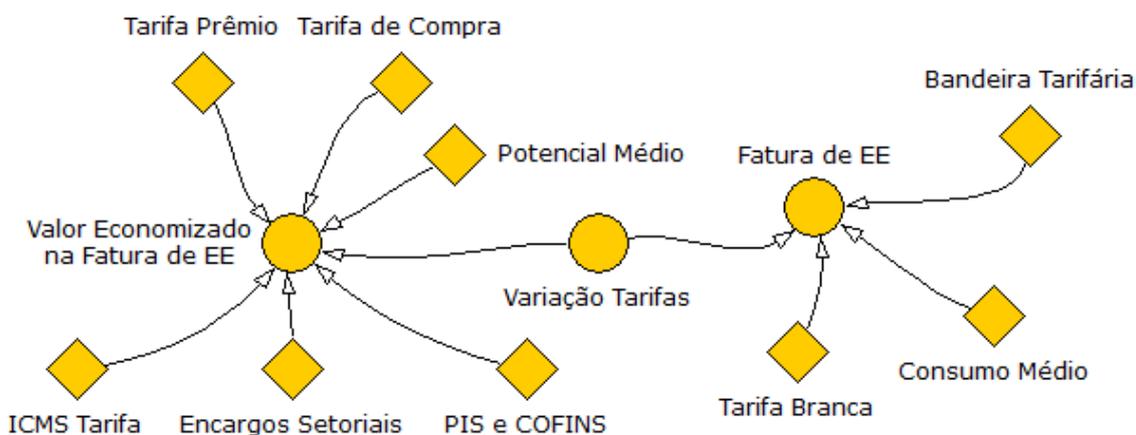
$$IC = RE \times 1R\$ \text{ [R\$]} \quad (3)$$

O Incentivo tem como proposta transformar a regulamentação em subsídios para a tarifa de transporte (como já ocorre), para empresas de prestação de serviços e de equipamentos dedicados a micro e minigeração. Como na regulamentação atual não há a possibilidade de venda da Energia Elétrica produzida, não deve ser observada grandes instalações, sendo estas limitadas ao consumo médio de cada prosumidor.

5.4.2 Tarifa de energia elétrica e valor economizado

As variáveis que compõem o modelo computacional relacionada à tarifa de energia elétrica e ao valor economizado são apresentadas na Figura 16.

Figura 16: Submodelo computacional - Tarifa de energia elétrica e valor economizado.



Fonte: O autor.

As variáveis Tarifa de Compra (TC), Potencial Médio (PM) e Consumo Médio (CM) são constantes que mantidas fixas durante toda a simulação e, seus valores e suas unidades são apresentados na seção 5.5.

As variáveis PIS e COFINS, ICMS Tarifa (ICMS T), Encargos Setoriais (ES), Tarifa Prêmio (TP), Bandeira Tarifária (BaT), Variação Tarifas (VT) e Tarifa Branca (TB) são constantes que podem ter seu valor alterado a cada passo de integração. Seus valores iniciais, suas unidades e seus limites de variação são expostos na seção 5.5.

As variáveis Valor Economizado (VE) e Fatura de Energia Elétrica (FEE) são variáveis auxiliares responsáveis por aglutinar os valores recebidos. As respectivas equações e suas unidades são apresentadas nas Equações (4) e (5).

$$VE = PM \times VT \times \frac{\left[(TC \times (1 + TP)) + ES + \left(\frac{\text{Incentivos}}{1\text{kWh}} \right) \right]}{1 - \text{ICMS T} - \text{PIS e COFINS}} \text{ [R\$]} \quad (4)$$

O Valor Economizado é fundamentado no quanto será deixado de ser pago no valor da fatura de energia elétrica. Para isso, é considerado o valor da Tarifa de Compra acrescido da Tarifa Prêmio, os Encargos Setoriais e os Incentivos obtidos com a Tarifa de Transporte, estes ponderados pela energia gerada, os impostos incidentes e a evolução da Variação da Tarifa.

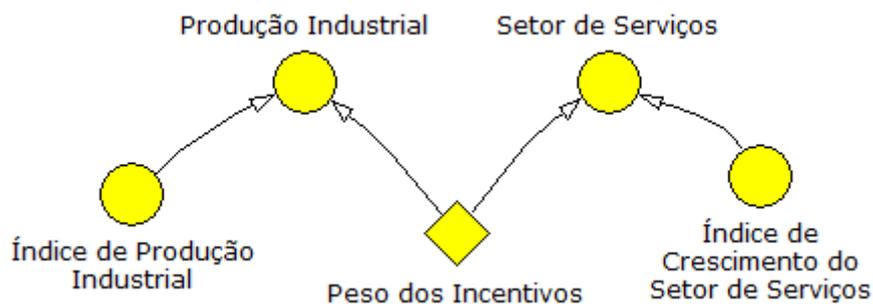
$$FEE = 0,6973 \times VT \times CM \times (1 + TB) \times (1 + BaT) \text{ [R\$]} \quad (5)$$

A Fatura de Energia Elétrica é calculada através da metodologia tradicional utilizada pela CEEE-D, apenas considerando-se a influência que a Tarifa Branca, a Bandeira Tarifária e a evolução da Variação da Tarifa.

5.4.3 Evolução do setor de serviços e produção industrial

As variáveis que compõem o submodelo computacional relacionada ao potencial, regulamentação e incentivos são apresentadas na Figura 17.

Figura 17: Submodelo computacional - Evolução do setor de serviços e produção industrial.



Fonte: O autor.

As constantes Índice de Produção Industrial (IndPI) e Índice de Crescimento do Setor de Serviços (IndCSS) possuem um valor fixo, os quais são apresentados na seção 5.5. O Peso dos Incentivos (P_{icen}) é uma constante que pode ser variada a cada passo de integração e seu valor é apresentado na seção 5.5.

As variáveis Produção Industrial (PI) e Setor de Serviços (SS) são variáveis auxiliares responsáveis e relacionam os valores recebidos. Suas respectivas equações e unidades são apresentadas nas Equações (6) e (7).

$$PI = [1 + (\text{IndPI})] \times [1 + P_{icen} \times IC][\%] \quad (6)$$

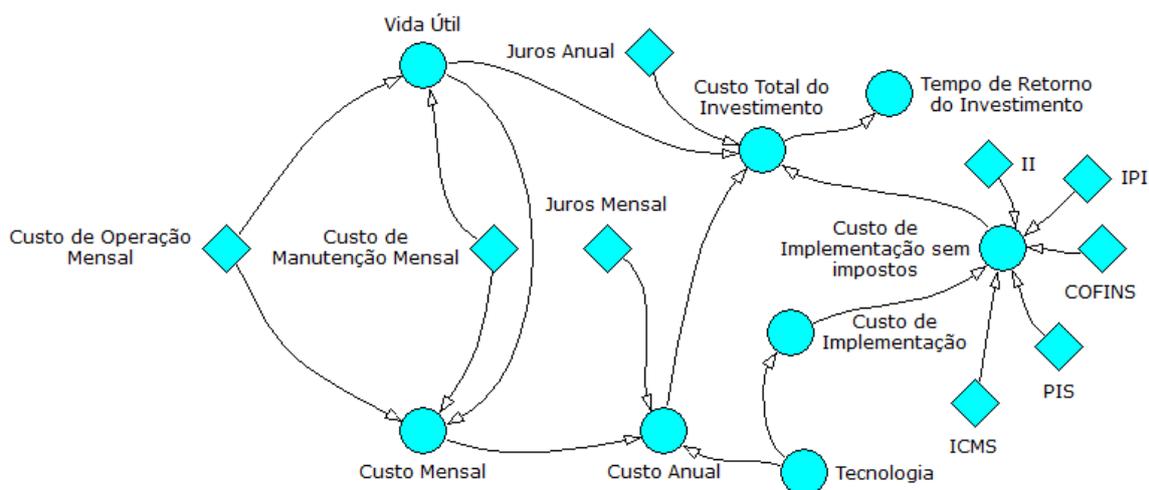
$$SS = [1 + (\text{IndCSS})] \times [1 + P_{icen} \times IC] [\%] \quad (7)$$

A Produção Industrial e o Setor de Serviços representa a evolução destes parâmetros somados aos possíveis incentivos governamentais que possam surgir.

5.4.4 Custo de implementação

As variáveis que compõem o modelo computacional relacionada ao custo de implementação são apresentadas na Figura 18.

Figura 18: Submodelo computacional - Custo de Implementação.



Fonte: O autor.

A variável Tecnologia (Tec) é apresentada na seção 5.5. As variáveis Programa de Integração Social (PIS), Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), Imposto sobre Circulação de Mercadorias e prestação de Serviços (ICMS), Imposto de Importação (II), Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), Juro Mensal (JM) e Juro Anual (JA) são constantes que podem ter seu valor alterado a cada passo de integração. Seus valores iniciais, suas unidades e seus limites de variação são expostos na seção 5.5.

As variáveis Custo de Operação Mensal (COM), Custo de Manutenção Mensal (CMM) são apresentadas na seção 5.5.

As variáveis Vida Útil (VU), Custo Mensal (CM), Custo Anual (CA), Custo de Implementação (CI), Custo de Implementação sem Impostos (CII), Custo Total do Investimento (CTI) e Tempo de Retorno do Investimento (TIR) são variáveis auxiliares responsáveis por processar os valores recebidos. As respectivas equações e suas unidades são apresentadas nas Equações (8) a (14).

$$VU = (12 + (CMM - COM) \times 0,01 \frac{R\$}{\text{ano}}) [\text{ano}] \quad (8)$$

A Vida Útil é calculada considerando-se o Custo de Manutenção Mensal que aumenta o tempo de vida dos equipamentos reduzidos de sua utilização. Este valor é acrescido ao tempo de vida médio atribuído pelos fabricantes.

$$CM = CMM + COM + VU \times 0,01 \frac{R\$}{ano} [R\$] \quad (9)$$

O Custo Mensal é a soma do Custo de Manutenção Mensal com o Custo de Operação Mensal, acrescido de um percentual relativo ao tempo de Vida Útil dos equipamentos.

$$CA = \frac{CM \times \left[\frac{(1+JM)^{12} - 1}{JM} \right]}{(0,2*PI+0,8*SS) \times Tec} [R\$] \quad (10)$$

O Custo Anual é calculado através do Custo Mensal, corrigido pelo valor de Juro Mensal obtido através de um investimento de renda fixa (poupança). Este valor é ponderado pelo avanço da Tecnologia, pela evolução do Setor de Serviços e da Produção Industrial, que reduzem os custos de produção.

$$CI = \frac{R\$ 17800}{(0,2*SS+0,8*PI) \times Tec} [R\$] \quad (11)$$

O Custo de Implementação é o custo de instalação atual do potencial médio, reduzido da evolução do Setor de Serviços, Produção Industrial e Tecnologia.

$$CII = CI \times (1 - ICMS - PIS - COFINS - II - IPI) [R\$] \quad (12)$$

O Custo de Implementação sem Impostos é o Custo de Implementação retirando-se os impostos, os quais podem ser variados ao longo do tempo.

$$CTI = CII + CA \times \left[\frac{(1+JA)^{\frac{VU}{1ano}} - 1}{JA \times (1+JA)^{\frac{VU}{1ano}}} \right] [R\$] \quad (13)$$

O Custo Total do Investimento é a soma do Custo de Implementação sem Impostos somados ao Custo Anual corrigido pelo valor de Juros Anual comparando com um investimento de renda fixa (poupança).

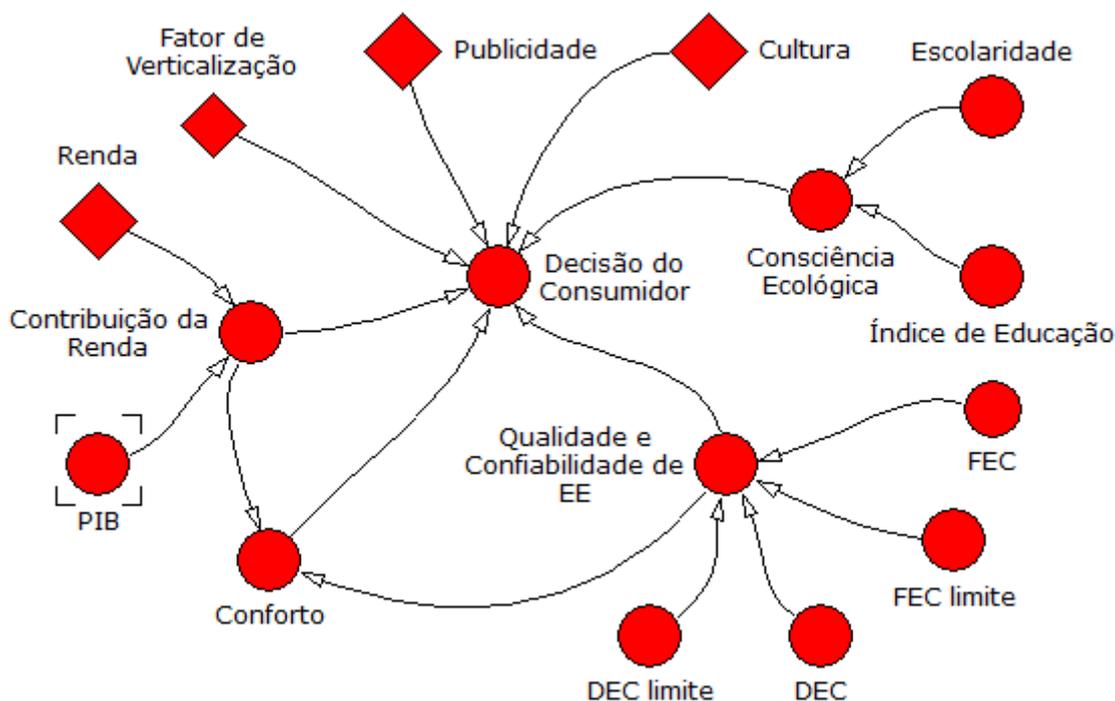
$$TIR = \frac{CTI}{VE \times 12} [ano] \quad (14)$$

O Tempo de Retorno do Investimento é calculado considerando-se o Valor Economizado a cada mês na Fatura de EE dividindo o Custo Total do Investimento.

5.4.5 Decisão do consumidor

As variáveis que compõem o modelo computacional relacionada à Decisão do Consumidor são apresentadas na Figura 19.

Figura 19: Submodelo Computacional - Decisão do Consumidor.



Fonte: O autor.

A variável PIB e o valor do Fator de Verticalização são apresentados na seção 5.5. As variáveis DEC, DEC limite, FEC, FEC limite e Índice de Educação assumem valores distintos a cada ano, conforme é descrito na seção 5.5.

As variáveis Renda (Ren), Escolaridade (Esc), Publicidade (Pub), Cultura (Cul) e Fator de Verticalização (FVert) são constantes e são mantidas fixas durante toda a simulação. Seus valores e suas unidades são apresentados na seção 5.5.

As variáveis Contribuição da Renda (CR), Conforto (Con), Confiabilidade de Energia Elétrica (CEE) e Consciência Ecológica (CE) são variáveis auxiliares responsáveis por processar os valores recebidos. As respectivas equações e suas unidades são apresentadas nas Equações (15) a (18).

$$CR = Ren \times PIB \text{ [%]} \quad (15)$$

A evolução da Contribuição da Renda é calculada considerando o cenário atual com evolução do PIB.

$$Con = 0,9 \times CR - 0,1 \times CEE \text{ [R\$]} \quad (16)$$

O conforto é influenciado pelo critério estabelecido da renda e pela Confiabilidade da Energia Elétrica.

$$CEE = \frac{DEC \text{ limite}}{DEC} \times \frac{FEC \text{ limite}}{FEC} \text{ [%]} \quad (17)$$

A Confiabilidade de Energia Elétrica é calculada considerando-se evolução dos indicadores referentes à continuidade do serviço (DEC e FEC). Os indicadores limites representam os valores limites estipulados pela ANEEL.

$$CE = Esc \times \text{Índice de Educação} \text{ [%]} \quad (18)$$

A Consciência Ecológica é calculada levando-se em conta o nível de escolaridade e a evolução do Índice de Educação, pressupondo-se que os conceitos ambientais são amplamente difundidos nas unidades educacionais.

As Equações 19 e 20 foram desenvolvidas de maneira a sensibilizar a Decisão do Consumidor frente às variáveis da Fatura de Energia Elétrica (Fat EE) e do Tempo de Retorno do Investimento (TIR).

$$\text{Fat EE} = f(x) = \begin{cases} \frac{FEE}{R\$200}, & \frac{FEE}{R\$200} < 1 \\ 1, & \frac{FEE}{R\$200} \geq 1 \end{cases} \text{ [%]} \quad (19)$$

$$\text{Tempo de Retorno} = \begin{cases} 1 & TIR \leq 3\text{anos} \\ -0,10714 \times \frac{TIR}{1\text{ano}} + 1,3214 & 3\text{anos} < TIR \leq 10\text{anos} \\ -0,05 \times \frac{TIR}{1\text{ano}} + 0,75 & 10\text{anos} < TIR \leq 15\text{anos} \\ 0 & TIR > 15\text{anos} \end{cases} \text{ [%]} \quad (20)$$

A Decisão do Consumidor (DC) é construída pela Equação 21, considerando-se a participação de cada variável.

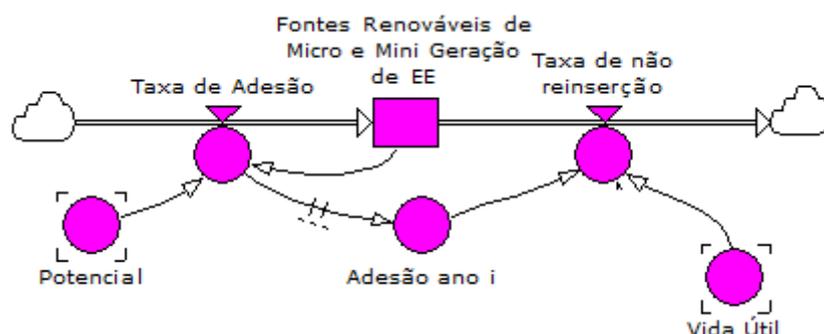
$$DC = (0,03 \times Cul + 0,035 \times Con + 0,45 \times CE + 0,14 \times CR + 0,19 \times Pub - 0,005 \times CEE + 0,04 \times Fat EE + 0,11 \times Tempo de Retorno) \times FVert [\%] \quad (21)$$

Estes pesos na Decisão do Consumidor foram utilizados com base nos estudos realizados pela ANEEL e apresentados no Seminário de Micro e Minigeração Distribuída com os consumidores que já adotaram este tipo de energia. Portanto, serviu como critério para nivelar a motivação do prosumidor.

5.4.6 Fontes renováveis de micro e minigeração de energia elétrica

As variáveis que compõem o modelo computacional relacionada às Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de Energia Elétrica são apresentadas na Figura 20.

Figura 20: Submodelo computacional - Fontes renováveis de micro e minigeração de energia elétrica.



Fonte: O autor.

As variáveis Potencial e Vida Útil são uma retirada da variável original, ou seja, não alteram a informação da variável, sendo apenas utilizada para otimizar a representação gráfica. Estas variáveis estão apresentadas, respectivamente, na seção 5.5.1 e 5.5.3.

As variáveis Taxa de Adesão (TA) e Taxa de Não Reinscrição (TNR), são variáveis de taxa responsáveis por processar os valores recebidos. As respectivas equações e suas unidades são apresentadas nas Equações (22) a (24).

$$TA = (PO - FRMMG) \times \frac{DC}{ano} \text{ [kWh/ano]} \quad (22)$$

A Taxa de Adesão é construída a partir do potencial disponível e da aceitação dos consumidores, relacionada com a decisão do consumidor.

$$ADi = TA_{i+vida\ util} \text{ [kWh/ano]} \quad (23)$$

A variável auxiliar ADi é responsável por recuperar o valor da taxa de adesão no ano em que o tempo da implementação do equipamento supera o tempo de Vida Útil.

$$TNR = TA \times \left(\frac{1-DC}{100} \right) \times \frac{1}{ano} \text{ [kWh/ano]} \quad (24)$$

A Taxa de não Reinserção é calculada considerando-se os equipamentos que passaram do tempo de Vida Útil, levando-se em consideração a Decisão do Consumidor.

A variável de nível Fontes de Micro e Mini Geração de Energia Elétrica possui valor inicial nulo e, conforme as etapas de simulação, armazena o valor seguindo a Equação (25).

$$FRMMG = \int (TA - TNR) dt \text{ [kWh]} \quad (25)$$

5.5 ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS

A estimação dos parâmetros consiste em apresentar os valores utilizados nas variáveis de entrada do modelo computacional. Dessa maneira, esta etapa é realizada em conjunto com a seção 5.4, visto que conforme se apresenta a necessidade de novas variáveis para o Modelo Computacional, se torna necessário à pesquisa de novos parâmetros que as complementem. Sempre que disponível, buscou-se fontes oficiais para se determinar estes valores.

A seguir são apresentados os valores dos parâmetros utilizados no modelo computacional, bem como as referências e/ou método para estimação de cada variável.

- **Potencial Inicial:** Apresenta o potencial existente que poderá ser explorado. Foram utilizados para tanto, os dados disponíveis no banco de dados do *Solar and Wind Resource Assessment* (SWERA). Os dados coletados encontram-se no Anexo A e são apresentados por média mensal e anual para cada cidade. O potencial médio encontrado para a área de concessão da CEEE-D são de 590,703 GWh/ano;
- **Tecnologia:** A tecnologia representa a evolução dos equipamentos fotovoltaicos com relação à eficiência e custos, conforme descrito no Capítulo 3. Foi prevista uma evolução, conforme apresenta o Quadro 5;

Quadro 5: Valores da Tecnologia.

Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor
2014	1,00	2018	1,05	2022	1,10	2026	1,20
2015	1,00	2019	1,05	2023	1,15	2027	1,20
2016	1,00	2020	1,10	2024	1,15	2028	1,20
2017	1,05	2021	1,10	2025	1,15	2029	1,25

Fonte: O autor.

- **Varição PIB:** Representa a evolução do PIB ao longo do horizonte de estudo. Faria (2014), projeta um crescimento de 3,2% ao ano;
- **Índice da Produção Industrial:** Este índice mede o crescimento médio da produção industrial. A partir de seu histórico, é considerado um crescimento de 1,2% ao ano;
- **Índice de Crescimento do Setor de Serviços:** Este índice mede o crescimento médio do setor de serviços. A partir de seu histórico, é considerado um crescimento de 4% ao ano;
- **Peso dos Incentivos:** Esta variável mede o estímulo governamental dado às empresas de produção equipamentos fotovoltaicos e as prestadoras de serviços. Seu valor inicial é de 0% podendo ser alterado conforme a Equação (26).

$$PI_{cen} = 0\%, \{PI \in \mathbb{Q} \mid 0\% \leq PI_{cen} \leq 100\%\} \quad (26)$$

- **Custo de Operação Mensal: Custo** estimado em R\$10,00 mensais para as despesas com a operação dos equipamentos.
- **Custo de Manutenção Mensal:** Custo estimado em R\$15,00 mensais para as despesas com a manutenção dos equipamentos.
- **Custo de Implementação Mensal:** Valor esperado para cobrir o custo inicial do investimento. Estimado em R\$ 17.800,00;
- **Juro Mensal:** Rendimento médio mensal da caderneta de poupança. Seu valor inicial é de 0,5% podendo ser alterado conforme a Equação (27).

$$JM = 0,5\% \{JM \in \mathbb{Q} \mid 0,4\% \leq JM \leq 0,65\%\} \quad (27)$$

- **Juro Anual:** Rendimento médio anual da caderneta de poupança. Seu valor inicial é de 6,17% podendo ser alterado conforme a Equação (28).

$$JA = 6,17\% \{JA \in \mathbb{Q} \mid 3,66\% \leq JA \leq 8,73\%\} \quad (28)$$

- **ICMS:** Imposto incidente sobre os produtos e serviços. Seu valor inicial é de 17% podendo ser alterado conforme a Equação (29);

$$ICMS = 17\% \{ICMS \in \mathbb{Q} \mid 0\% \leq ICMS \leq 17\%\} \quad (29)$$

- **PIS:** Imposto incidente sobre os produtos e serviços. Seu valor inicial é de 1,65% podendo ser alterado conforme a Equação (30);

$$PIS = 1,65\% \{PIS \in \mathbb{Q} \mid 0\% \leq PIS \leq 1,65\%\} \quad (30)$$

- **COFINS:** Imposto incidente sobre os produtos e serviços. Seu valor inicial é de 7,6% podendo ser alterado conforme a Equação (31);

$$COFINS = 7,6\% \{COFINS \in \mathbb{Q} \mid 0\% \leq COFINS \leq 7,6\%\} \quad (31)$$

- **IPI:** Imposto incidente sobre os produtos. Seu valor inicial é de 15% podendo ser alterado conforme a Equação (32);

$$\text{IPI} = 15\% \{ \text{IPI} \in \mathbb{Q} \mid 0\% \leq \text{IPI} \leq 15\% \} \quad (32)$$

- **II:** Imposto incidente sobre os produtos. Seu valor inicial é de 12% podendo ser alterado conforme a Equação (33);

$$\text{II} = 12\% \{ \text{II} \in \mathbb{Q} \mid 0\% \leq \text{II} \leq 12\% \} \quad (33)$$

- **ICMS Tarifa:** Imposto incidente sobre a Tarifa de Energia Elétrica com valor de 25%. Com respeito à micro e minigeração distribuída, é importante esclarecer que o Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) aprovou o Convênio ICMS 6, de 5 de abril de 2013, estabelecendo que o ICMS apurado tem como base de cálculo toda energia que chega à unidade consumidora proveniente da distribuidora, sem considerar qualquer compensação de energia produzida pelo microgerador (ANEEL, 2014). Seu valor durante as simulações pode ser alterado conforme a Equação (34);

$$\text{ICMS T} = 25\%, \{ \text{ICMS T} \in \mathbb{Q} \mid 0\% \leq \text{ICMS T} \leq 25\% \} \quad (34)$$

- **Encargos Setoriais:** Valor referente aos encargos setoriais do SEB de 0,0185 R\$/kWh. Seu valor durante as simulações pode ser alterado conforme a Equação (35);

$$\text{ES} = 0,0185 \text{ R\$/kWh}, \{ \text{ES} \in \mathbb{Q} \mid 0 \leq \text{ES} \leq 0,0185 \} \quad (35)$$

- **PIS e COFINS Tarifa:** Imposto incidente sobre a Tarifa de Energia Elétrica com valor médio de 5%. Seu valor durante as simulações pode ser alterado conforme a Equação (36);

$$\text{PIS e COFINS} = 5\%, \{ \text{PIS e COFINS} \in \mathbb{Q} \mid 0 \leq \text{PIS e COFINS} \leq 5 \} \quad (36)$$

- **Varição Tarifas:** Representa a evolução da Fatura de Energia Elétrica ao longo do horizonte de estudo. Lautenschleger (2013) define esta evolução, em relação ao ano de 2014, conforme o Quadro 6;

Quadro 6: Valores da Variação da Tarifa.

Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor
2014	1,000000	2018	1,133380	2022	1,272444	2026	1,420005
2015	1,012142	2019	1,143829	2023	1,281903	2027	1,428861
2016	1,023539	2020	1,153790	2024	1,291002	2028	1,437429
2017	1,034274	2021	1,163291	2025	1,299772	2029	1,445725

Fonte: Adaptado de Lautenschleger (2013).

- **Potencial Médio:** Calculado através da divisão do Potencial Inicial pela quantidade de unidades consumidoras, obtendo-se um potencial médio de 274,14 kWh/mês;
- **Tarifa Prêmio:** É um mecanismo ao qual o prosumidor recebe um preço superior por kWh em relação aos produtores de outras fontes de energia elétrica, conforme descrito no Capítulo 3. Seu valor durante as simulações pode ser alterado conforme a Equação (37);

$$TP = 0\%, \{TP \in \mathbb{Q} \mid 0\% \leq TP \leq 50\%\} \quad (37)$$

- **Tarifa de Compra:** Parcela do custo da Fatura de Energia Elétrica alusiva ao custo de geração de 0,201 R\$/kWh;
- **Tarifa de Transporte:** Parcela do custo da fatura de Energia elétrica alusiva ao custo de transporte de 0,1181 R\$/kWh;
- **Consumo Médio:** Estimativa do valor médio de consumo dos domicílios com renda superior a 10 salários mínimos dentro da área de concessão da CEEE-D de 274,14 kWh/mês;
- **Tarifa Branca:** Esta variável visa apresentar o custo mensal adicional de compra de energia. Assim, o consumidor terá a oportunidade de adaptar seu consumo, se assim desejar. Seu valor durante as simulações pode ser alterado conforme a Equação (38);

$$TB = 0\%, \{TB \in \mathbb{Q} \mid -10\% \leq TB \leq 10\%\} \quad (38)$$

- **Bandeira Tarifária:** Com as bandeiras, haverá a sinalização mensal do custo de geração da energia elétrica que será cobrada do consumidor, com acréscimo das bandeiras amarela e vermelha (ANEEL, 2014). Seu

intervalo varia entre 0 e 5%. Seu valor durante as simulações pode ser alterado conforme a Equação (39);

$$\text{BaT} = 0\%, \{ \text{BaT} \in \mathbb{Q} \mid 0 \leq \text{BaT} \leq 5\% \} \quad (39)$$

- **Publicidade:** Expressa quantitativamente a parcela de Publicidade. Seu valor inicial revisto é de 5%, podendo variar conforme apresentado na Equação (40);

$$\text{Pub} = 5\% \{ \text{Pub} \in \mathbb{Q} \mid 0\% \leq \text{Pub} \leq 100\% \} \quad (40)$$

- **Renda:** Quantifica o número de domicílios com renda entre 10 a 20 salários mínimos e acima de 20 salários mínimos, as quais são atribuídos os pesos de 25% e 75%, respectivamente. Os dados foram obtidos do Censo Demográfico 2010 (IBGE, 2010). Esta parcela representa 6,02% do total de domicílios, conforme mostra a Equação (41);

$$\text{Ren} = \left(0,25 \times \frac{109044}{1234690} \right) + \left(0,75 \times \frac{62755}{1234690} \right) [\%] \quad (41)$$

- **Cultura:** Variável sociológica e antropológica que quantifica os aspectos culturais. Seu valor inicial previsto é de 10%, podendo variar conforme apresentado na Equação 942);

$$\text{Cul} = 10\% \{ \text{Cul} \in \mathbb{Q} \mid 0\% \leq \text{Cul} \leq 100\% \} \quad (42)$$

- **Escolaridade:** Quantifica o número de pessoas com 25 anos ou mais, residentes em domicílios permanentes que tenham completado o ensino superior ou ensino médio, os quais são atribuídos os pesos de 75% e 25%, respectivamente. Os dados foram obtidos do Censo Demográfico 2010 (IBGE, 2010). Esta parcela representa 17,86% do total de domicílios, conforme apresentado na Equação (43);

$$\text{Esc} = \left(0,2 \times \frac{290536}{1167400} \right) + \left(0,8 \times \frac{187945}{1167400} \right) [\%] \quad (43)$$

- **Índice de Educação:** Representa a evolução da Fatura de Energia Elétrica ao longo do horizonte de estudo. Faria (2014) define esta evolução, conforme o Quadro 7;

Quadro 7: Evolução do Índice de Educação.

Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor
2014	0,54	2018	0,56	2022	0,57	2026	0,59
2015	0,55	2019	0,56	2023	0,58	2027	0,59
2016	0,55	2020	0,57	2024	0,58	2028	0,60
2017	0,55	2021	0,57	2025	0,58	2029	0,60

Fonte: Adaptado de Faria, 2014.

- **FEC:** Indica quantas vezes, em média, as unidades consumidoras de determinado conjunto sofreram interrupção (ANEEL, 2014). Encontrado em (FARIA, 2014) e apresentado no Quadro 8;

Quadro 8: Evolução do indicador FEC.

Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor
2014	10,38	2018	9,05	2022	7,93	2026	6,97
2015	10,03	2019	8,75	2023	7,68	2027	6,76
2016	9,69	2020	8,47	2024	7,43	2028	6,55
2017	9,36	2021	8,19	2025	7,2	2029	6,35

Fonte: Adaptado de Faria, 2014.

- **FEC limite:** Valor limite do indicador FEC estipulado pela ANEEL, encontrado em (FARIA, 2014), e apresentado no Quadro 9;

Quadro 9: Evolução do indicador FEC limite.

Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor
2014	11,88	2018	8,16	2022	6,9	2026	6,48
2015	10,85	2019	7,3	2023	6,79	2027	6,39
2016	9,83	2020	7,16	2024	6,68	2028	6,3
2017	8,94	2021	7,02	2025	6,57	2029	6,22

Fonte: Adaptado de Faria, 2014.

- **DEC:** Indica o número de horas que, em média, as unidades consumidoras de determinado conjunto ficaram sem energia elétrica durante um determinado período (ANEEL, 2014). Encontrado em (FARIA, 2014) e apresentado no Quadro 10;

Quadro 10: Evolução do indicador DEC.

Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor
2014	16,62	2018	15,63	2022	14,73	2026	13,91
2015	16,36	2019	15,4	2023	14,52	2027	13,72
2016	16,11	2020	15,17	2024	14,31	2028	13,53
2017	15,87	2021	14,95	2025	14,11	2029	13,34

Fonte: Adaptado de Faria, 2014.

- **DEC limite:** Valor limite do indicador DEC estipulado pela ANEEL, encontrado em (FARIA, 2014), e apresentado no Quadro 11;

Quadro 11: Evolução do indicador DEC limite.

Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor
2014	13,46	2018	10,66	2022	9,63	2026	8,74
2015	12,95	2019	10,43	2023	9,39	2027	8,54
2016	12,14	2020	10,15	2024	9,16	2028	8,36
2017	11,34	2021	9,88	2025	8,94	2029	8,18

Fonte: Adaptado de Faria, 2014.

- **Fator de Verticalização:** Representa a correção em relação ao percentual de casas em relação ao total de domicílios, visto que em apartamentos há a inviabilização da utilização de painéis solares. Conforme encontrado em (FARIA, 2014), seu valor é de 78%.

6 SIMULAÇÕES, RESULTADOS E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Nesta seção são apresentadas as simulações, a análise de sensibilidade e os resultados obtidos através da construção de sete cenários.

6.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Nesta seção são apresentadas apenas as variáveis que possuem maior sensibilidade para o modelo e as demais estão incluídas no Anexo B.

O objetivo da análise de sensibilidade é estudar a estabilidade do sistema frente à variação dos seus parâmetros, identificando os parâmetros que afetam significativamente o comportamento do modelo. A partir disso, devem-se verificar as mudanças de comportamento do sistema, verificando se as mesmas são plausíveis.

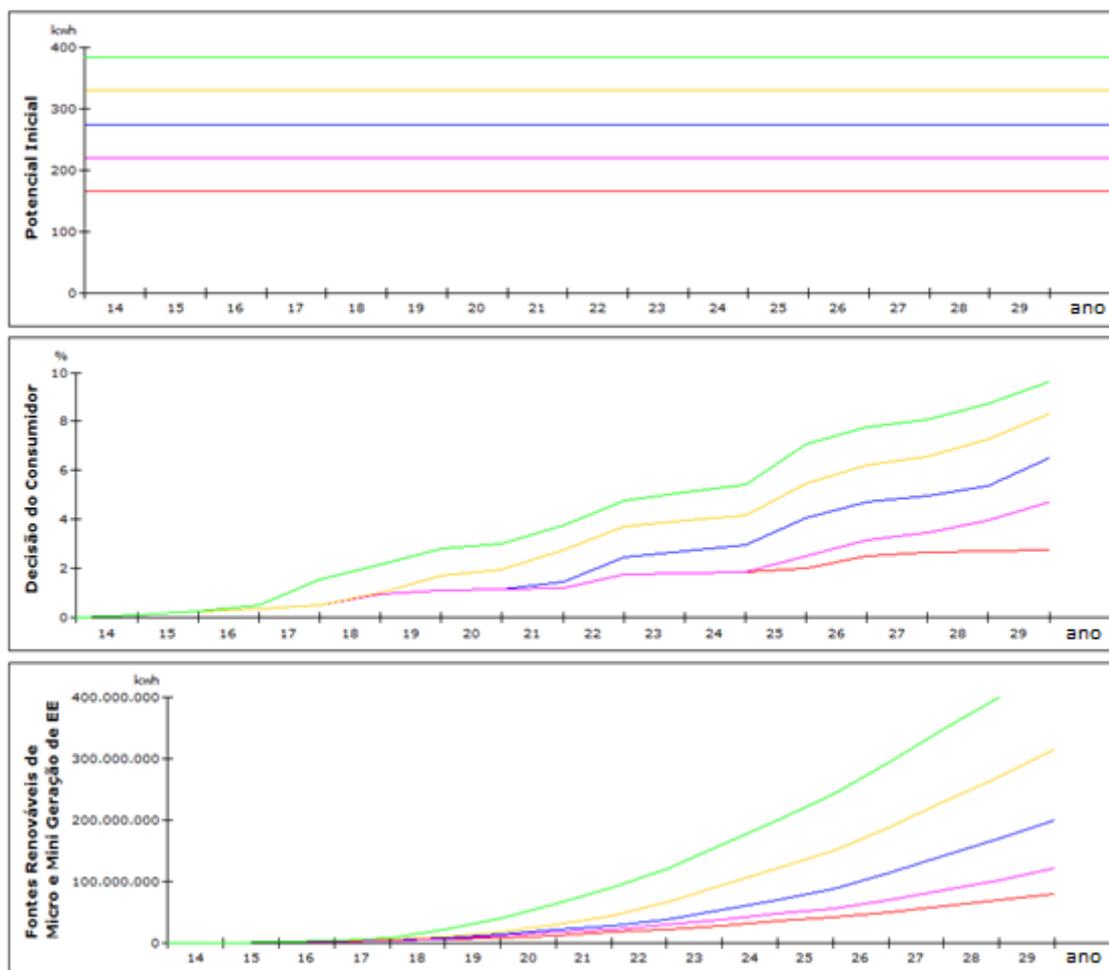
Dessa maneira, os parâmetros foram alterados em -40% (vermelho), -20% (rosa), 0% (azul), 20% (laranja) e 40% (verde) em relação ao valor referência e são apresentados nas Figuras 21 a 25. Os valores exibidos nos Quadros 12 a 16 apresentam o valor final da Decisão do Consumidor e das Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de Energia Elétrica frente à sensibilidade da variável estudada.

Quadro 12: Análise de sensibilidade - Potencial inicial.

Potencial Inicial	Decisão do Consumidor	Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de EE
354.421.800,00 kWh	2,78 %	78.913.199,00 kWh
472.562.400,00 kWh	4,73 %	120.929.546,31 kWh
590.703.000,00 kWh	6,52 %	199.894.045,02 kWh
708.843.600,00 kWh	8,32 %	315.314.465,43 kWh
826.984.200,00 kWh	9,60 %	455.495.833,78 kWh

Fonte: O autor.

Figura 21: Análise de sensibilidade - Potencial inicial.



Fonte: O autor.

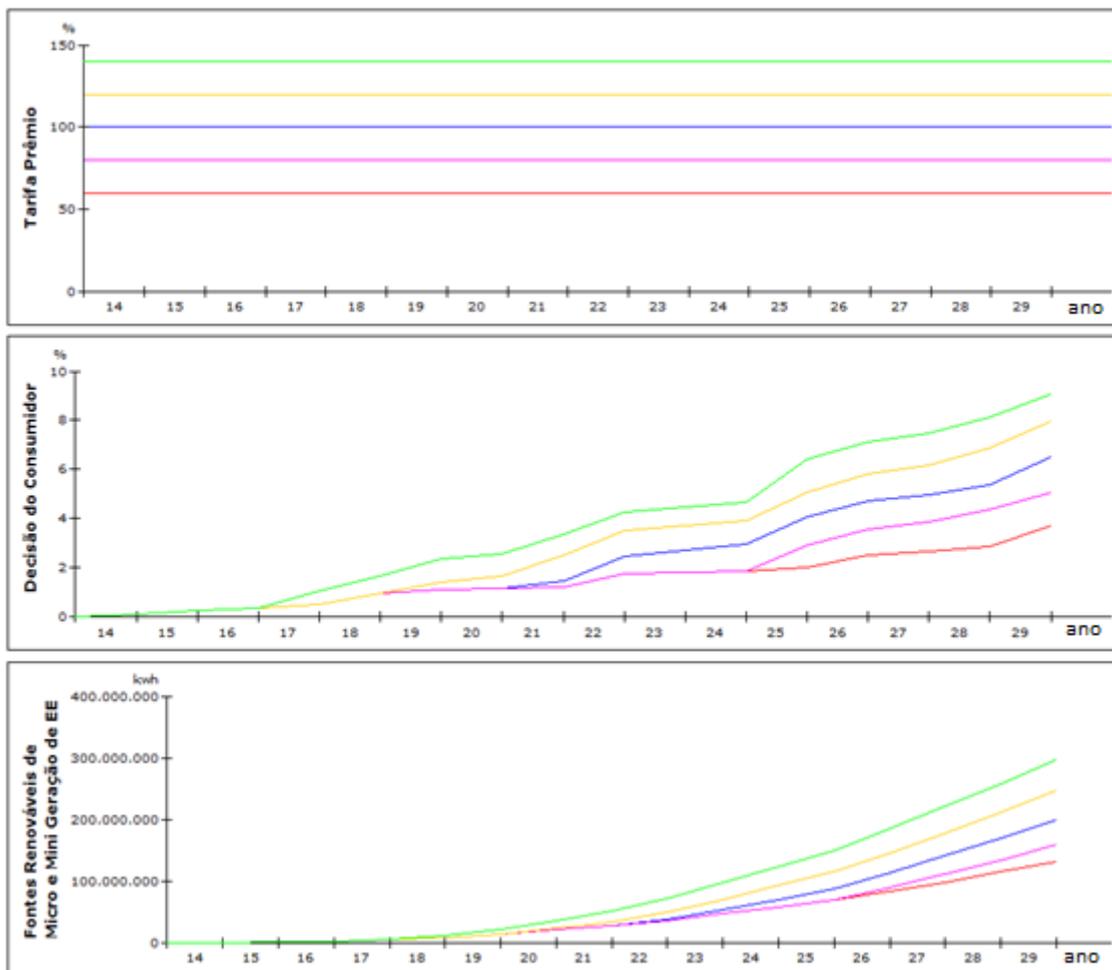
A sensibilidade com relação ao Potencial Inicial é totalmente sustentável, visto que sem o mesmo, o mercado não se realiza.

Quadro 13: Análise de Sensibilidade - Tarifa Prêmio.

Tarifa Prêmio	Decisão do Consumidor	Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de EE
-40,00%	3,74 %	132.596.215,71 kWh
-20,00%	5,07 %	160.438.746,31 kWh
0,00%	6,52 %	199.894.045,02 kWh
20,00%	7,97 %	247.572.752,42 kWh
40,00%	9,07 %	297.700.039,15 kWh

Fonte: O autor.

Figura 22: Análise de Sensibilidade - Tarifa Prêmio.



Fonte: O autor.

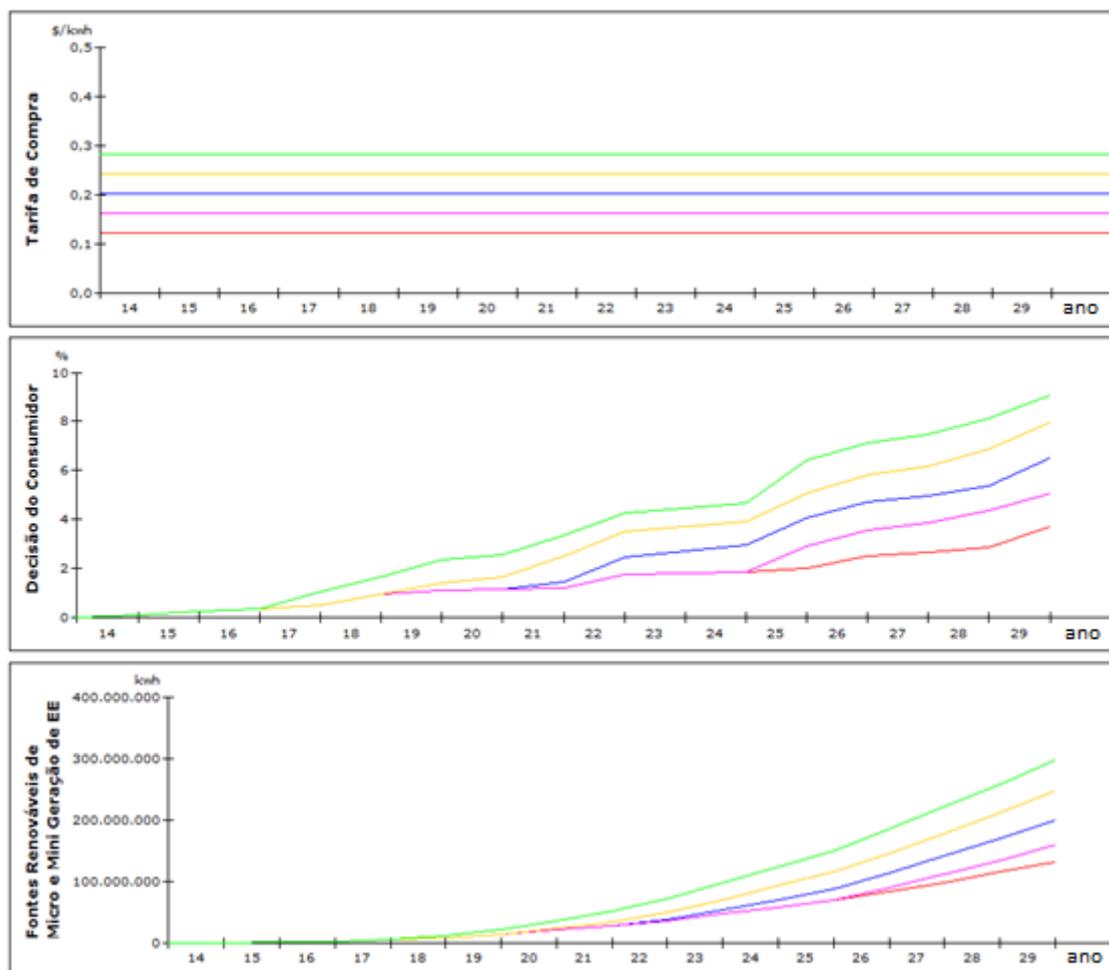
A sensibilidade com relação à Tarifa Prêmio é notável, já que o Tempo de Retorno do Investimento decresce de maneira significativa, influenciando a Decisão do Consumidor.

Quadro 14: Análise de sensibilidade - Tarifa de Compra.

Tarifa de Compra	Decisão do Consumidor	Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de EE
0,1206 R\$/kWh	3,74 %	132.596.215,71 kWh
0,1608 R\$/kWh	5,07 %	160.438.746,31 kWh
0,2010 R\$/kWh	6,52 %	199.894.045,02 kWh
0,2412 R\$/kWh	7,97 %	247.572.752,42 kWh
0,2814 R\$/kWh	9,07 %	297.700.039,15 kWh

Fonte: O autor.

Figura 23: Análise de Sensibilidade - Tarifa de Compra.



Fonte: O autor.

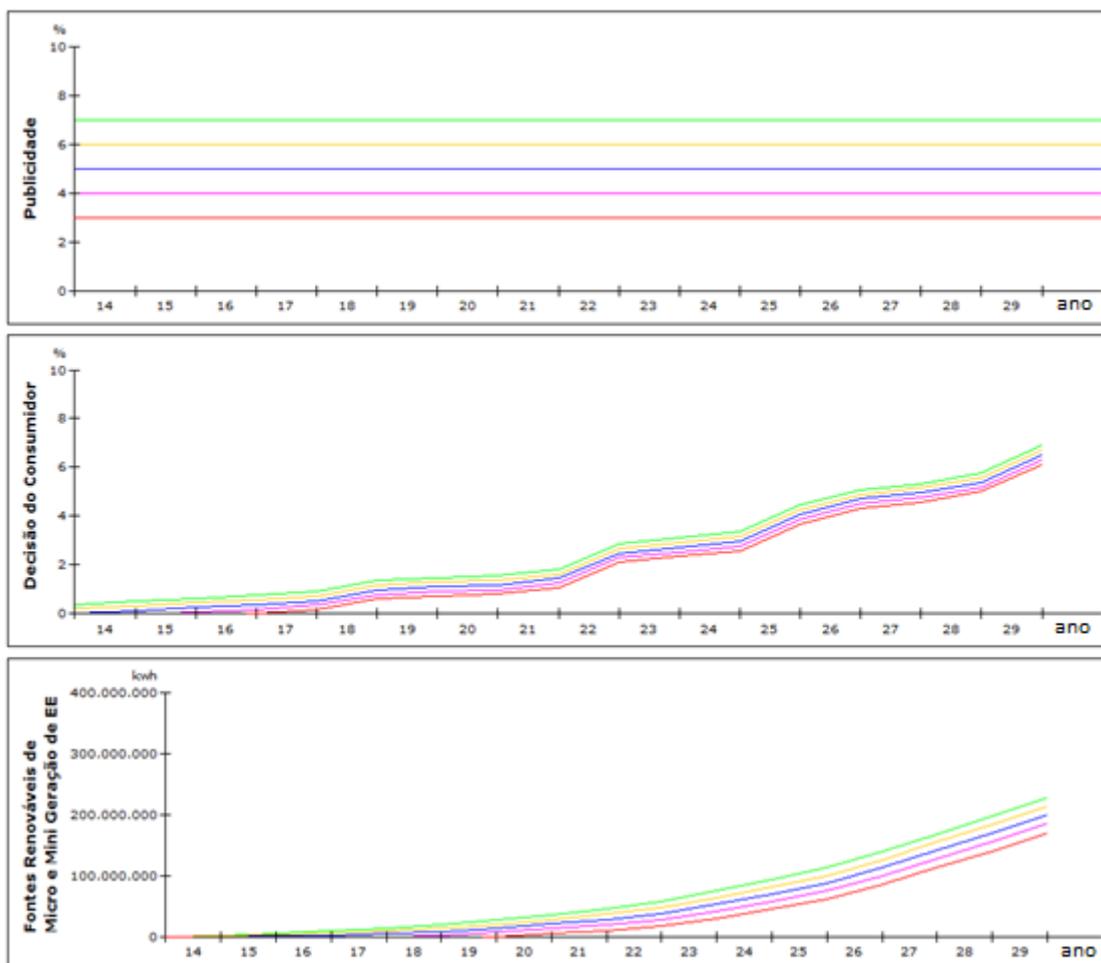
Com a evolução da Tarifa de Compra, há uma alteração significativa na Fatura de Energia Elétrica e no Valor Economizado na Fatura, resultando em uma influência na Decisão do Consumidor.

Quadro 15: Análise de sensibilidade - Publicidade.

Publicidade	Decisão do Consumidor	Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de EE
3,00 %	6,14 %	169.939.781,56 kWh
4,00 %	6,33 %	185.126.972,37 kWh
5,00 %	6,52 %	199.894.045,02 kWh
6,00 %	6,71 %	214.264.049,06 kWh
7,00 %	6,90 %	228.253.476,00 kWh

Fonte: O autor.

Figura 24: Análise de sensibilidade - Publicidade.



Fonte: O autor.

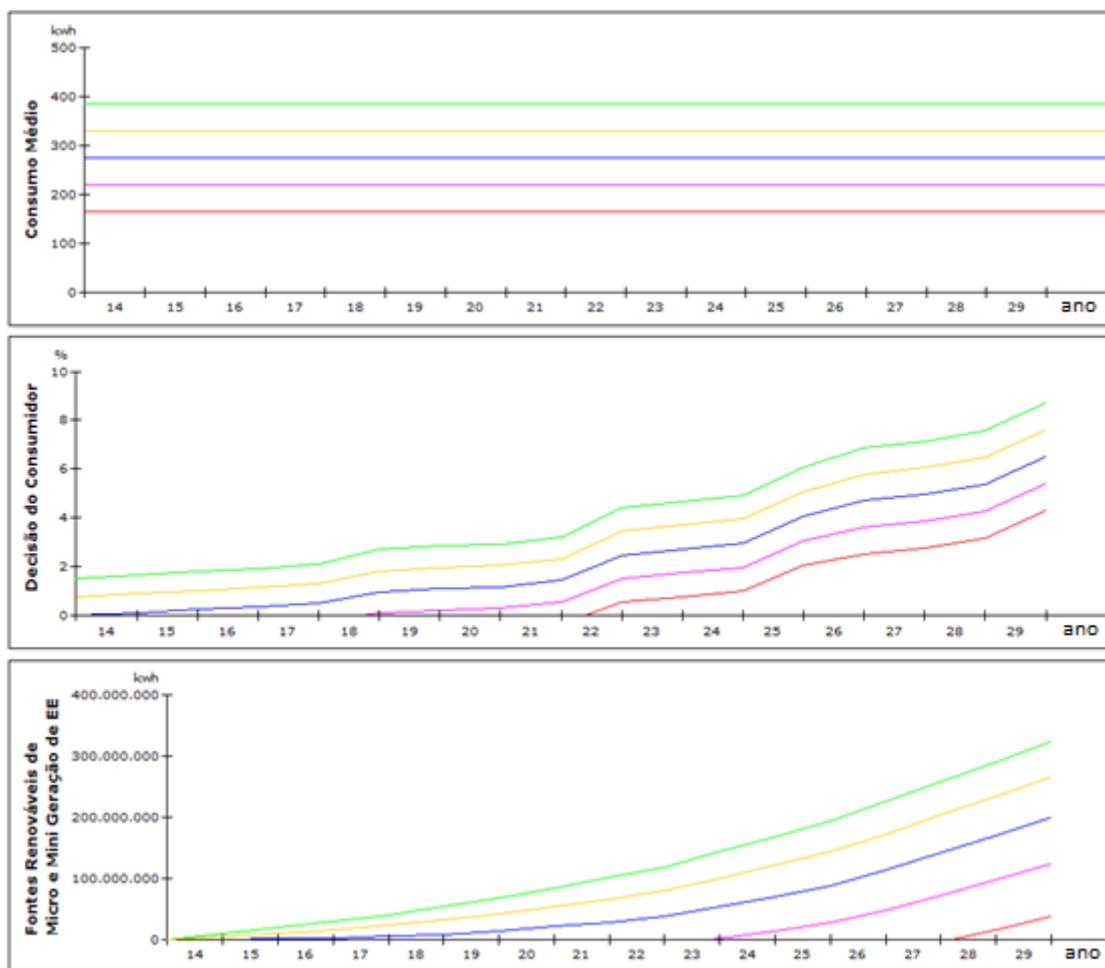
Conforme Mattar (2014), em seminário realizado pela ANEEL, com os prosumidores já existentes, a publicidade apresenta um peso importante na Decisão do Consumidor, a qual é consolidado na análise de sensibilidade.

Quadro 16: Análise de sensibilidade - Consumo Médio.

Consumo Médio	Decisão do Consumidor	Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de EE
164,48 kWh	4,31 %	37.815.563,80 kWh
219,31 kWh	5,42 %	124.224.280,98 kWh
274,14 kWh	6,52 %	199.894.045,02 kWh
328,97 kWh	7,62 %	266.115.053,33 kWh
383,80 kWh	8,73 %	324.009.750,64 kWh

Fonte: O autor.

Figura 25: Análise de sensibilidade - Consumo Médio.



Fonte: O autor.

Com a variação no Consumo Médio, há uma alteração significativa na Fatura de Energia Elétrica resultando em uma evolução na Decisão do Consumidor. O mesmo comportamento pode ser observado na Bandeira Tarifária e na Tarifa Branca, as quais são apresentadas no Anexo B.

6.2 CENÁRIOS

Frente a um processo de decisão sob incerteza, tem-se que analisar os possíveis futuros "estados da natureza", alternativas de decisões e calcular as consequências cruzadas das decisões com os estados da natureza (EHRlich, 2010). Godet (1993) define cenário como “conjunto formado pela descrição coerente de uma situação

futura”. Portanto, foram criados seis cenários com base na construção computacional desenvolvida no Capítulo 5, os quais foram abordadas de tal maneira que se possa tomar decisões e, com isso, antecipar ações, melhorando o planejamento estratégico. Os cenários criados (azul) são comparados com o Cenário Atual (vermelho). Nestes cenários são alteradas as variáveis ICMS sobre os produtos e serviços, IPI, ICMS na Tarifa de Energia Elétrica, Tarifa Prêmio, Publicidade e Cultura. Para cada cenário é apresentado um quadro com os valores utilizados durante a simulação. Os valores iniciais das variáveis (cenário atual, conforme pesquisados no Capítulo 5), estão exibidos no Quadro 17. Quando estas variáveis não forem mencionadas nos cenários, entende-se que o seu valor é o mesmo do Quadro 17.

Quadro 17: Variáveis de Cenário – Valores padrões.

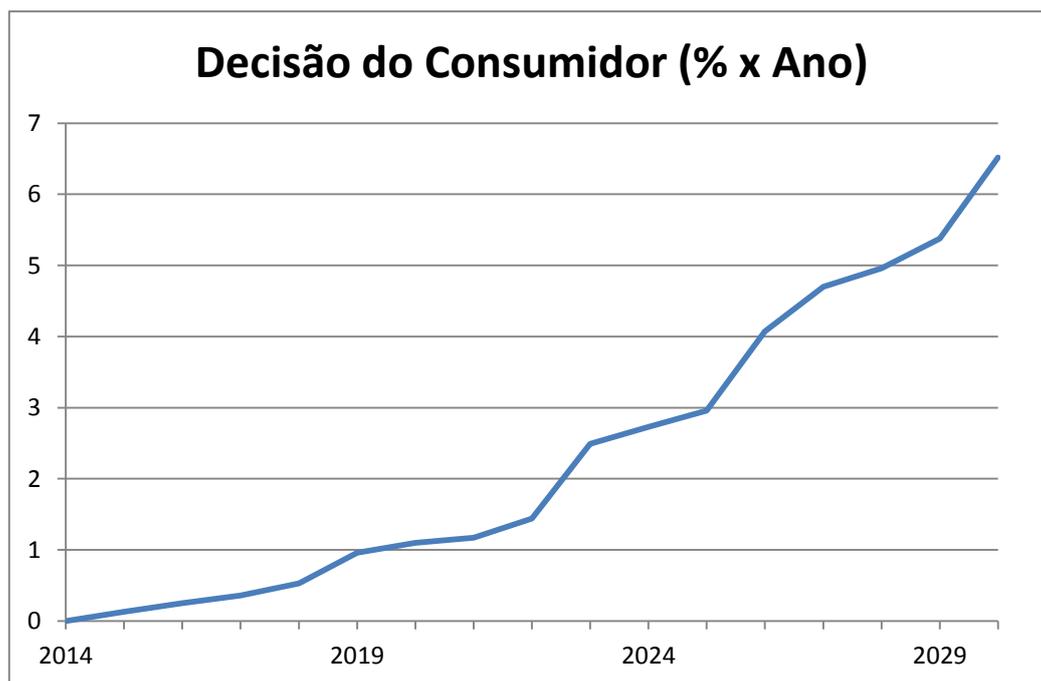
ANO	2014 - 2020	2021 - 2025	2025 - 2030
ICMS	17%	17%	17%
IPI	15%	15%	15%
Peso dos Incentivos	0%	0%	0%
ICMS Tarifa	25%	25%	25%
Tarifa Prêmio	0%	0%	0%
Bandeira Tarifária	0%	0%	0%
Publicidade	5%	5%	5%
Cultura	10%	10%	10%

Fonte: O autor.

6.2.1 Cenário 1 – Atual (pessimista)

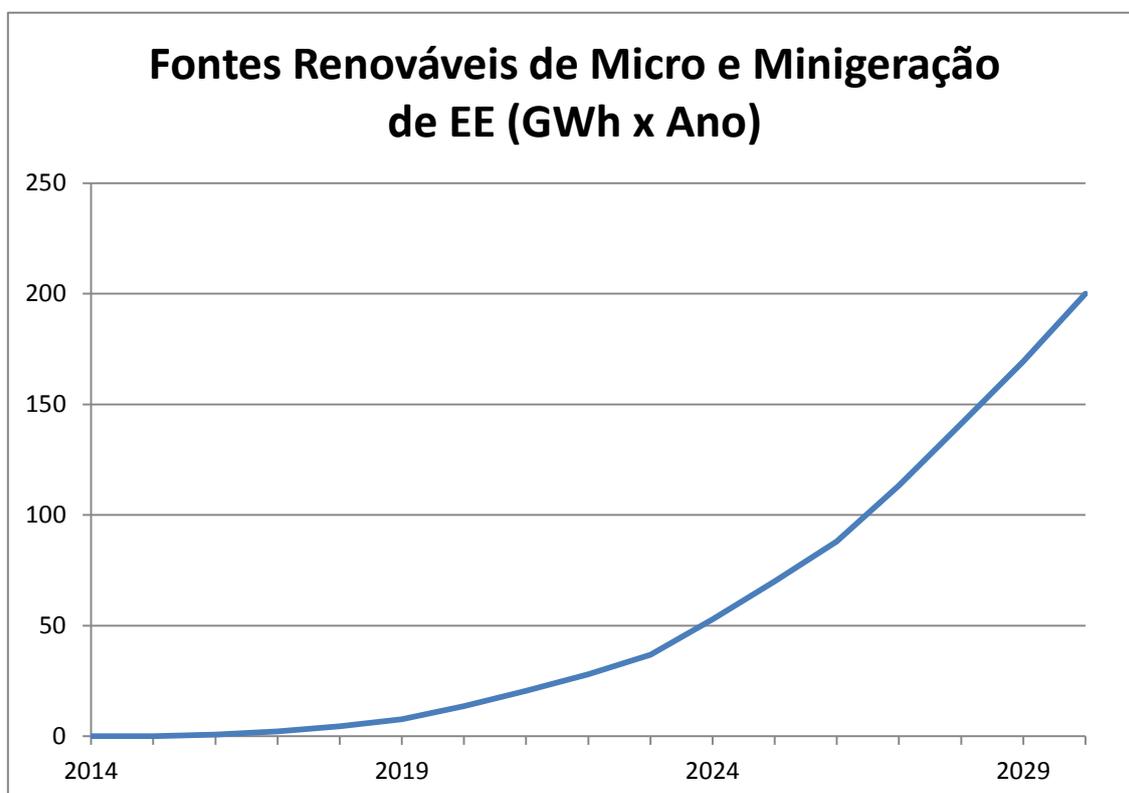
O primeiro cenário representa a atualidade. Durante todo o período de simulação deste cenário, foram mantidos constantes, de acordo com as políticas atuais, os valores das variáveis de interesse. Assim, são apresentados nas Figuras 26 e 27 a Decisão do Consumidor (fator primordial para as instalações das fontes fotovoltaicas) e o montante do potencial estimado, respectivamente.

Figura 26: Cenário Atual – Decisão do Consumidor.



Fonte: O autor.

Figura 27: Cenário Atual – Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE.



Fonte: O autor.

6.2.2 Cenário 2: Redução de impostos nos equipamentos

Neste caso são consideradas como variáveis de cenário o ICMS, IPI e Peso dos Incentivos. Estas variantes foram alocadas de maneira a visualizar a influência que este tipo de política pode ter sobre o prosumidor. Assim, foi estimado que do ano de 2014 ao ano de 2020 o ICMS é mantido em 5%, o IPI é reduzido a 0% e os pesos dos Incentivos é elevado até o patamar de 80%. A partir de 2021 a 2025 o ICMS é elevado à 10%, os incentivos à produção industrial e ao setor de serviços são reduzidos a 20% e o IPI é mantido em 0%. Do ano de 2026 a 2030, todas as reduções nos impostos são retiradas, voltando ao cenário atual. No Quadro 18 são apresentadas estas variações ao longo dos anos.

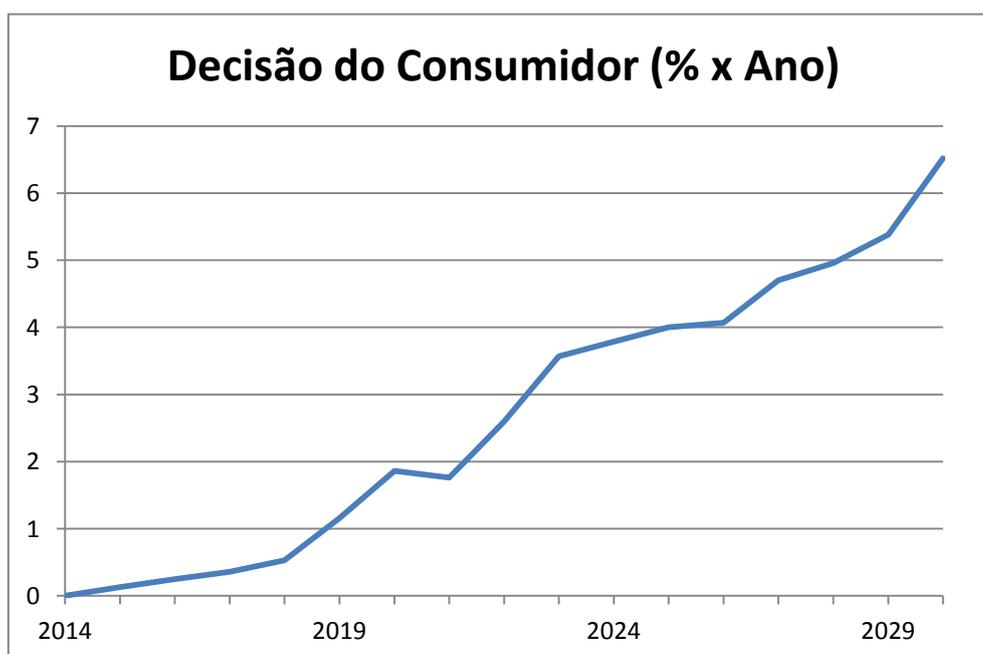
Quadro 18: Variáveis de Cenário – Redução de impostos nos equipamentos.

ANO	2014 - 2020	2021 - 2025	2025 - 2030
ICMS	5%	10%	17%
IPI	0%	0%	15%

Fonte: O autor.

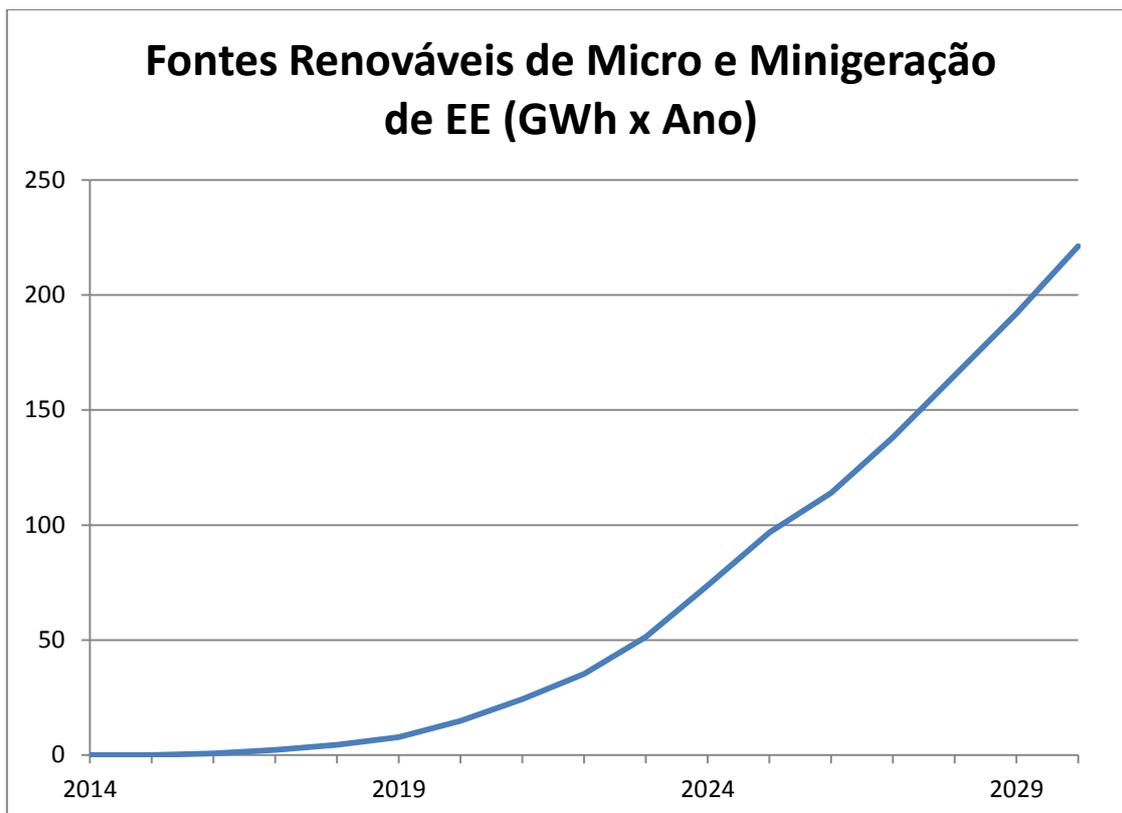
Nas Figuras 28 e 29 são apresentados os resultados desta simulação.

Figura 28: Cenário redução de impostos nos equipamentos – Decisão do Consumidor.



Fonte: O autor.

Figura 29: Cenário redução de impostos nos equipamentos – Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE.



Fonte: O autor.

Nota-se, ao observar os gráficos, que a redução nos impostos sobre os produtos e serviços ajuda a alavancar os investimentos no setor, porém quando este é retirado, o consumidor retorna ao mesmo patamar que havia sem os benefícios.

6.2.3 Cenário 3: Ajustes na Tarifa de Energia Elétrica

Neste caso são consideradas como variáveis de cenário o ICMS incidente sobre a tarifa de energia elétrica, a Tarifa Prêmio e a bandeira tarifária, os quais são colocados de maneira a visualizar a influência desta política sobre o prosumidor. Com isso, é estimado que do ano de 2014 ao ano de 2020 o ICMS da Tarifa é mantido em 0%, a Tarifa Prêmio elevado a 50% em relação à Tarifa de Compra e a Bandeira Tarifária é elevada até o patamar de 5%. A partir de 2021 a 2025 a Tarifa Prêmio é reduzida para 20%, o ICMS da Tarifa é mantido constante em 0%, e a Bandeira Tarifária é reduzida ao patamar de 1%. Do ano de 2026 a 2030, a Bandeira Tarifária é reduzida a 0% e todos

os incentivos nos impostos são retirados, voltando ao cenário atual. No Quadro 19 são apresentadas estas variações ao longo dos anos.

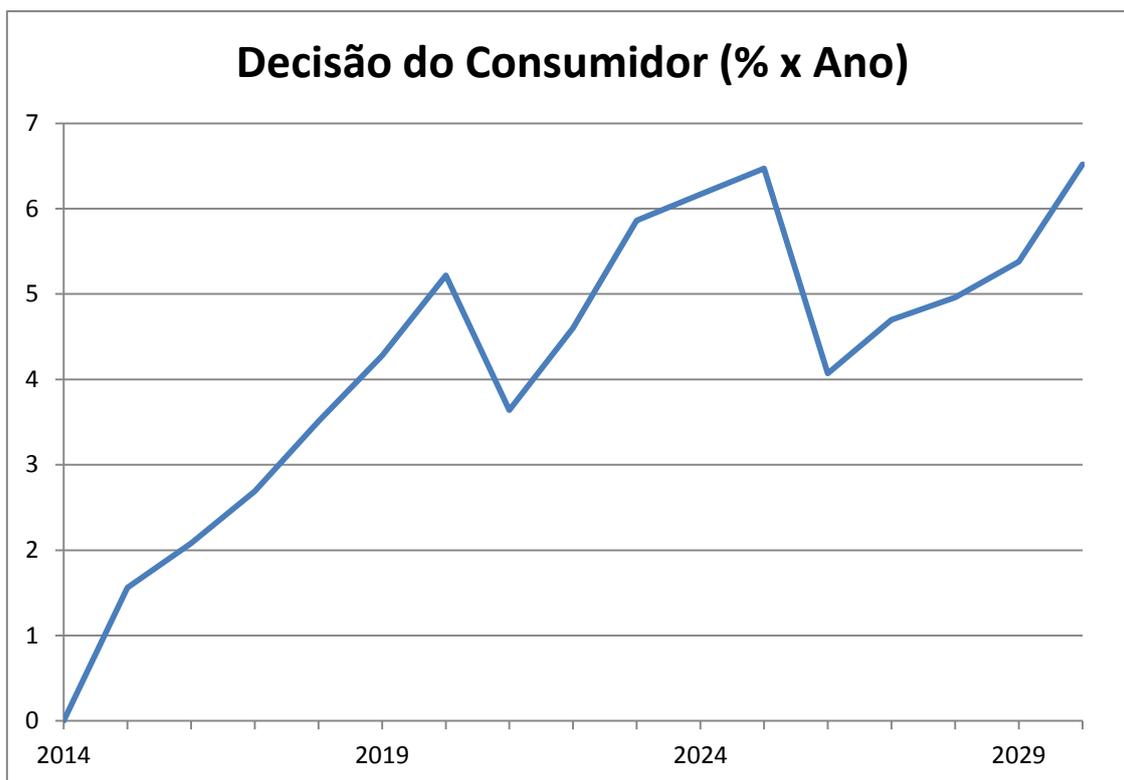
Quadro 19: Variáveis de Cenário – Ajustes na Tarifa de Energia Elétrica.

ANO	2014 - 2020	2021 - 2025	2025 - 2030
ICMS Tarifa	0%	0%	25%
Tarifa Prêmio	50%	20%	0%
Bandeira Tarifária	5%	1%	0%

Fonte: O autor.

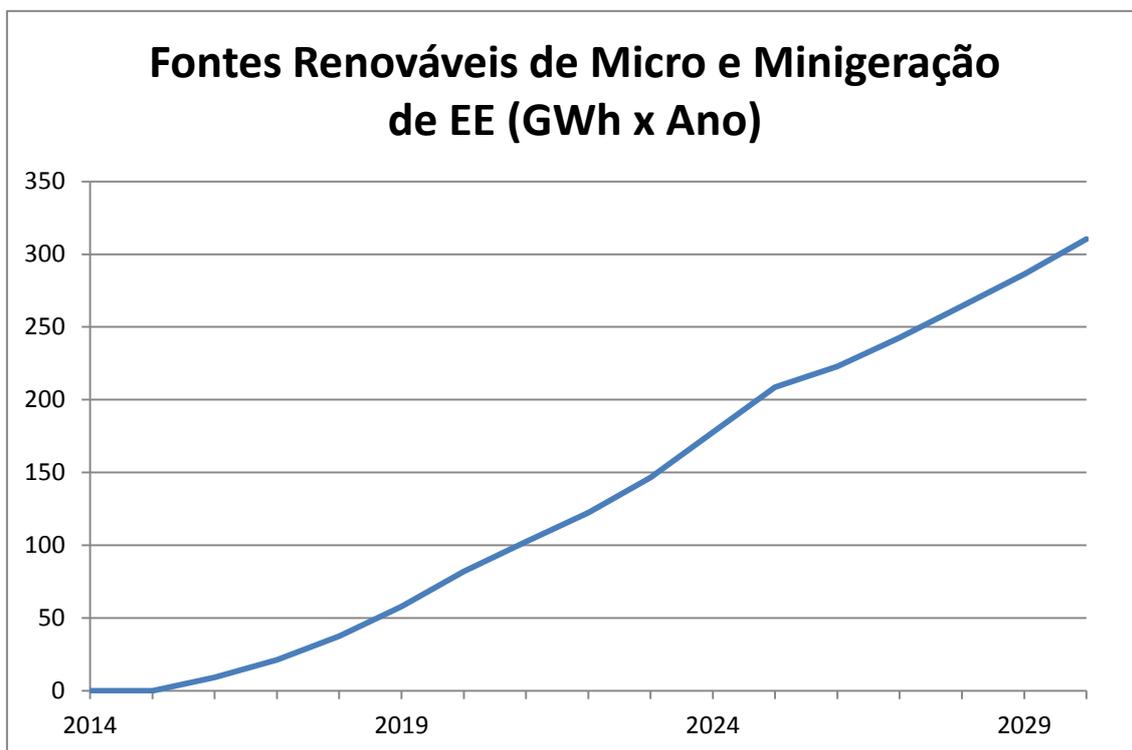
Nas Figuras 30 e 31 são apresentados os resultados desta simulação.

Figura 30: Ajustes na Tarifa de Energia Elétrica – Decisão do Consumidor.



Fonte: O autor.

Figura 31: Ajustes na Tarifa de Energia Elétrica – Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE.



Fonte: O autor.

A redução nos impostos e o incentivo através da Tarifa Prêmio apresentam grande influência para o salto da Decisão do Consumidor apresentado nos primeiros anos e, com a sua retirada, o consumidor tende a recuar com o investimento.

6.2.4 Cenário 4: Publicidade e cultura

Neste caso são consideradas como variáveis de cenário a Publicidade e a Cultura, as quais são colocadas de forma a visualizar a influência desta política sobre o prosumidor. Com isso, foi estimado que do ano de 2014 ao ano de 2020 a Publicidade tem seu valor em 60% e a Cultura em 10%. A partir de 2021 a 2025 começa a se desenvolver uma “maior” Cultura com relação a este tipo de energia renovável a qual é estipulado o valor de 20%, mantendo-se a Publicidade em 60%. Do ano de 2026 a 2030, a Publicidade é reduzida a 20% e a Cultura é elevada a 40%. No Quadro 20 são apresentadas estas variações ao longo dos anos.

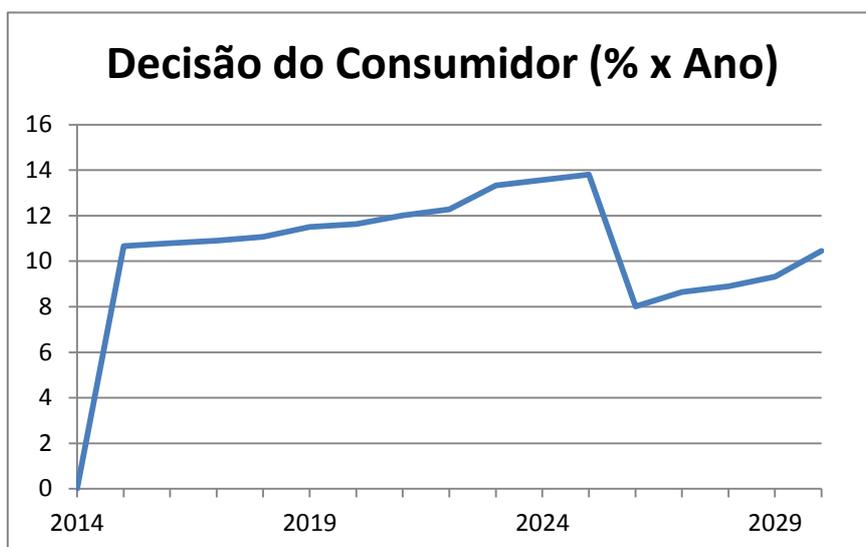
Quadro 20: Variáveis de Cenário – Publicidade e Cultura.

ANO	2014 - 2020	2021 - 2025	2025 - 2030
Publicidade	60%	60%	20%
Cultura	10%	20%	40%

Fonte: O autor.

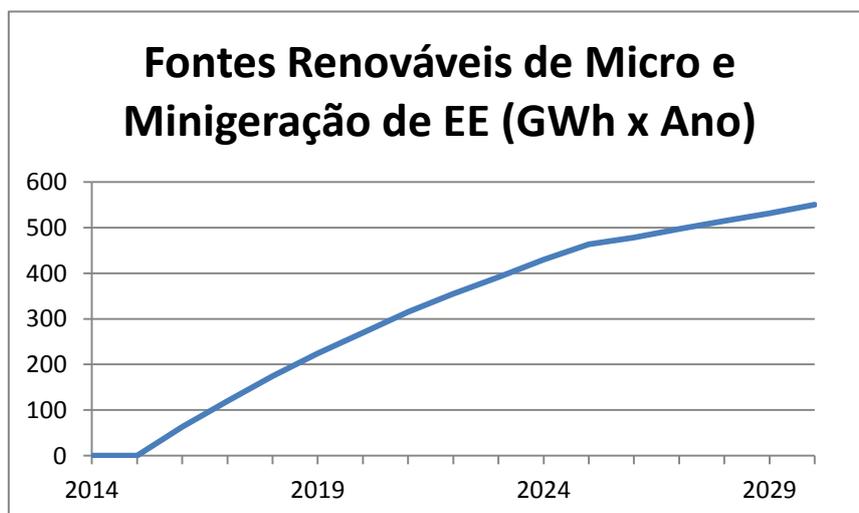
Nas Figuras 32 e 33 são apresentados os resultados desta simulação.

Figura 32: Cenário Publicidade e cultura – Decisão do Consumidor.



Fonte: O autor.

Figura 33: Cenário publicidade e cultura – Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE.



Fonte: O autor.

O estímulo à implementação das fontes fotovoltaicas, através da Publicidade, possui um impacto rápido e aparente, dessa maneira, a Cultura também evolui e contribui para que a Decisão do Consumidor se eleve de forma consistente.

6.2.5 Cenário 5: Redução de impostos, incentivo na tarifa e aumento da publicidade com maiores pesos

Neste caso são consideradas como variáveis de cenário o ICMS sobre os produtos e serviços, IPI, ICMS na Tarifa de Energia Elétrica Tarifa Prêmio, Publicidade e Cultura.

Com isso, foi estimado que do ano de 2014 ao ano de 2020 a Cultura é de 10%, o ICMS sobre os produtos e serviços é de 5%, o IPI é 0%, há um aumento na Publicidade que tem sem valor em 20%, o ICMS na Tarifa é retido completamente a Tarifa Prêmio é elevada a 40% do valor da Tarifa de Compra. A partir de 2021 a 2025 começa a se criar uma “maior” Cultura com relação a este tipo de energia renovável a qual é estipulada o valor de 20%, o ICMS é recolado, o IPI e o ICMS da Tarifa são mantidos em 0%, a Publicidade é elevada a 50% e a Tarifa Prêmio é reduzida para 20%. Do ano de 2026 a 2030, a Cultura se eleva para 30%, a tarifa Prêmio é elevada para 40% e as demais variáveis são mantidas com os mesmo valores do período anterior. No Quadro 21 são apresentadas estas variações ao longo dos anos.

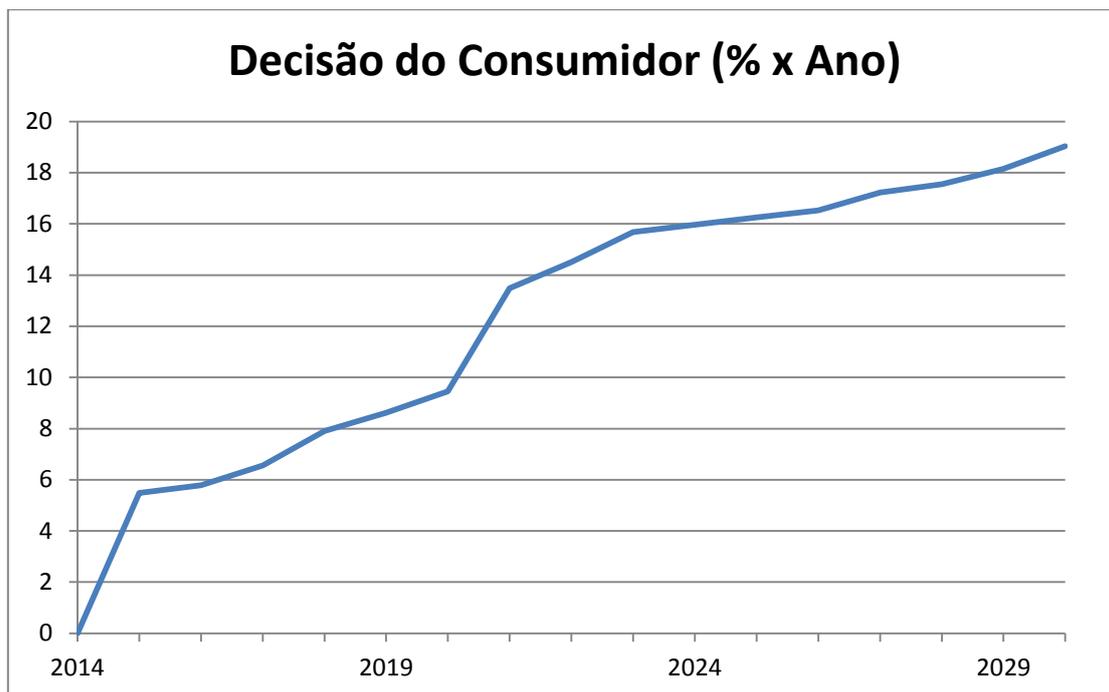
Quadro 21: Variáveis de Cenário – Redução de impostos, incentivo na tarifa e aumento da publicidade com maiores pesos.

ANO	2014 - 2020	2021 - 2025	2025 - 2030
ICMS	5%	17%	17%
IPI	0%	0%	0%
ICMS Tarifa	0%	0%	25%
Tarifa Prêmio	40%	20%	40%
Publicidade	20%	50%	50%
Cultura	10%	20%	30%

Fonte: O autor.

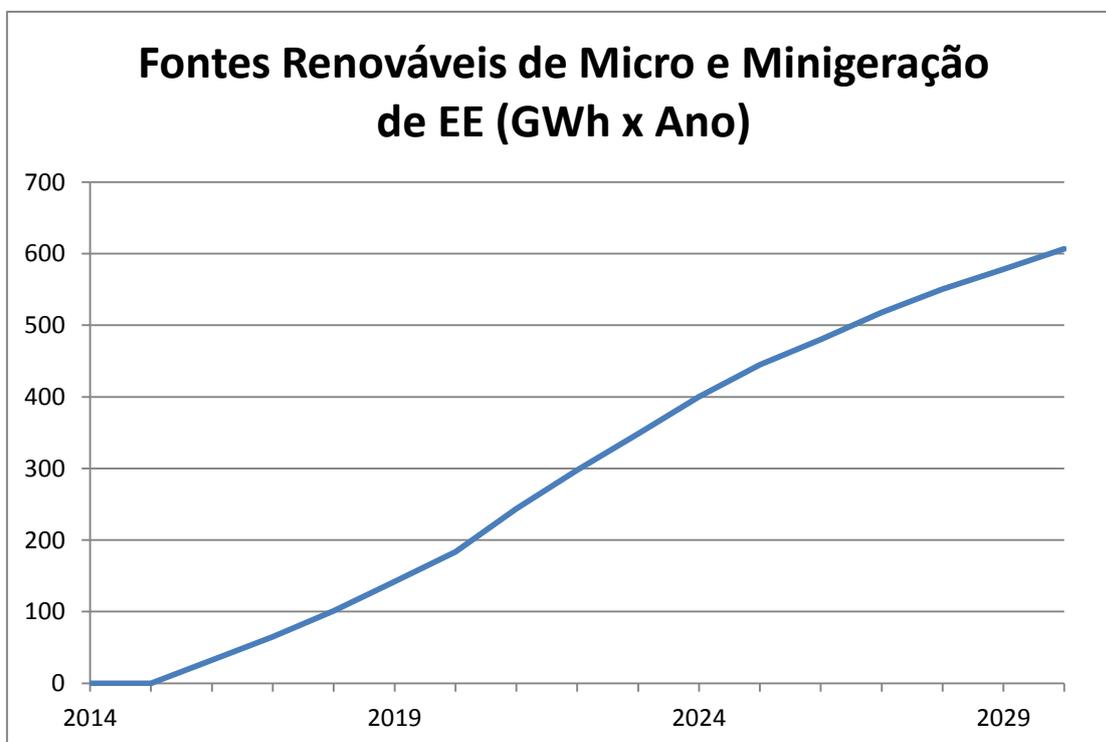
Nas Figuras 34 e 35 são apresentados os resultados desta simulação.

Figura 34: Cenário redução de impostos, incentivo na tarifa e aumento da publicidade com maiores pesos. – Decisão do Consumidor.



Fonte: O autor.

Figura 35: Cenário redução de impostos, incentivo na tarifa e aumento da publicidade com maiores pesos. – Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE.



Fonte: O autor.

Este cenário se revela extremamente atrativo, visto que ao final do período de simulação se tem 25% dos consumidores em potencial com suas instalações em atividade. Esta simulação se torna interessante visto que há a atuação de diversas políticas governamentais sem que exista uma atuação forte em apenas uma esfera governamental.

6.2.6 Cenário 6: Redução de impostos, incentivo na tarifa e aumento da publicidade com menores pesos

Neste caso são consideradas como variáveis de cenário o IPI, ICMS na Tarifa de Energia Elétrica Tarifa Prêmio, Publicidade e Cultura.

Com isso, foi estimado que do ano de 2014 ao ano de 2020 as variáveis são mantidas de acordo com o Cenário Atual. A partir de 2021 a 2025 a Cultura se mantém em 10%, o IPI é reduzido para 0%, o ICMS da Tarifa é reduzido em 0%, a Publicidade é elevada a 13% e a Tarifa Prêmio não é alterada. Do ano de 2026 a 2030, a Cultura se eleva para 15%, a tarifa Prêmio é elevada para 25%, o IPI continua reduzido em 0% e a Publicidade é elevada para 30%. No Quadro 22 são apresentadas estas variações ao longo dos anos.

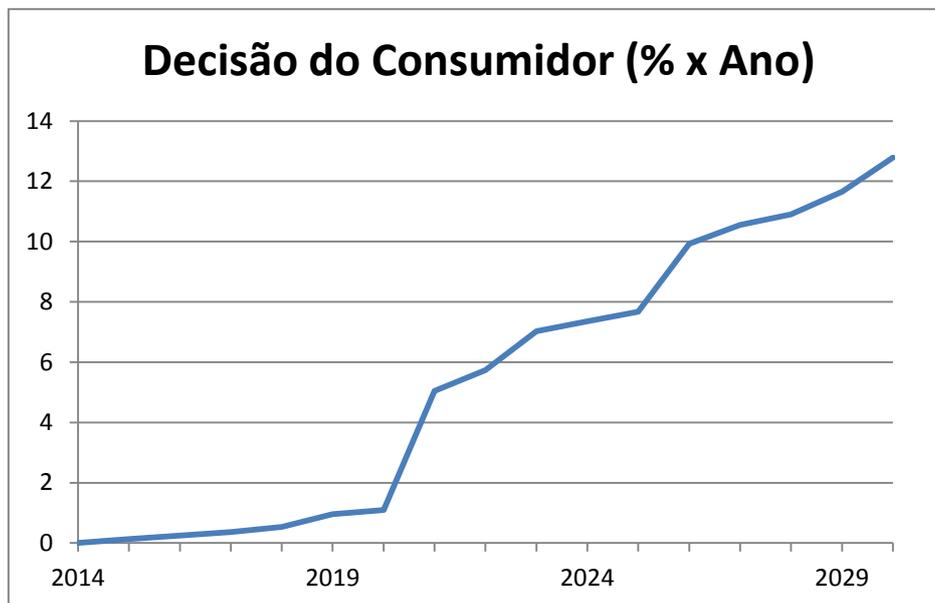
Quadro 22: Variáveis de Cenário – Redução de impostos, incentivo na tarifa e aumento da publicidade com menores pesos.

ANO	2014 - 2020	2021 - 2025	2025 – 2030
IPI	15%	0%	0%
ICMS Tarifa	25%	0%	25%
Tarifa Prêmio	0%	0%	25%
Publicidade	5%	13%	30%
Cultura	10%	10%	15%

Fonte: O autor.

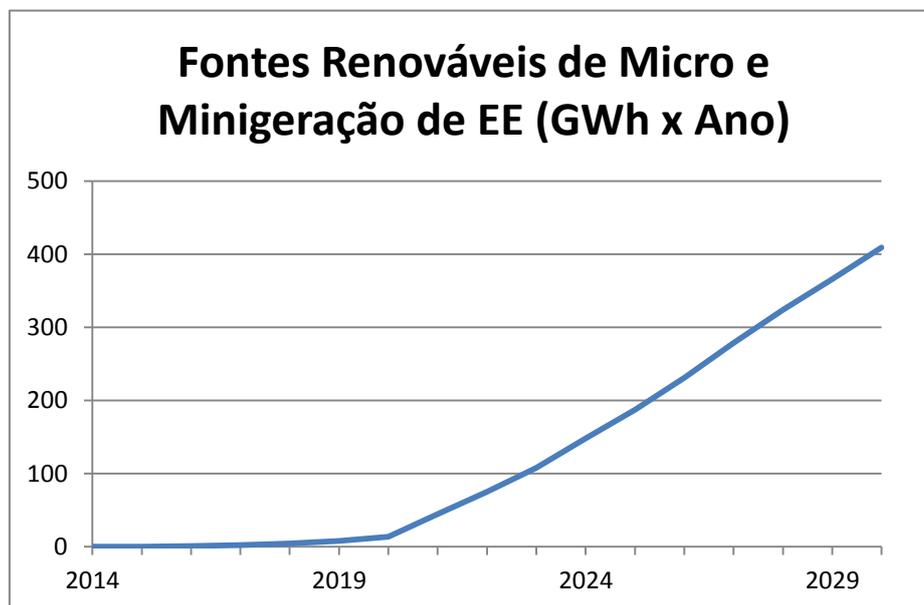
Nas Figuras 36 e 37 são apresentados os resultados desta simulação.

Figura 36: Cenário redução de impostos, incentivo na tarifa e aumento da publicidade com menores pesos – Decisão do Consumidor.



Fonte: O autor.

Figura 37: Cenário redução de impostos, incentivo na tarifa e aumento da publicidade com menores pesos – Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE.



Fonte: O autor.

Este cenário representa a visão política, na qual desde a criação da regulamentação até os próximos anos não é notada de maneira significativa a adesão e assim, são tomadas diversas políticas de maneira a alavancar a tomada de decisão.

6.2.7 Cenário 7: Otimista

Neste caso são consideradas como variáveis de cenário o ICMS sobre os produtos e serviços, IPI, ICMS na Tarifa de Energia Elétrica Tarifa Prêmio, Publicidade e Cultura.

Com isso, foi estimado que do ano de 2014 até 2030 todos estes parâmetros são colocados de modo a resultar na mais alta Decisão do Consumidor e consequentemente, se ter o maior potencial instalado. Este comprova o Modo de Referência. Os valores utilizados são apresentados no Quadro 23.

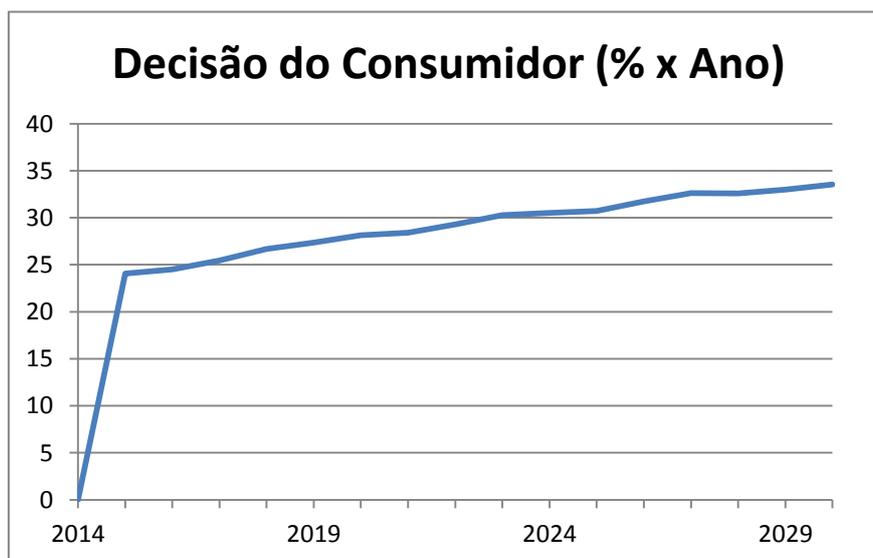
Quadro 23: Variáveis de Cenário – Otimista.

ANO	2014 - 2020	2021 - 2025	2025 – 2030
ICMS	0%	0%	0%
IPI	0%	0%	0%
ICMS Tarifa	0%	0%	0%
Tarifa Prêmio	50%	50%	50%
Publicidade	100%	100%	100%
Cultura	100%	100%	100%

Fonte: O autor.

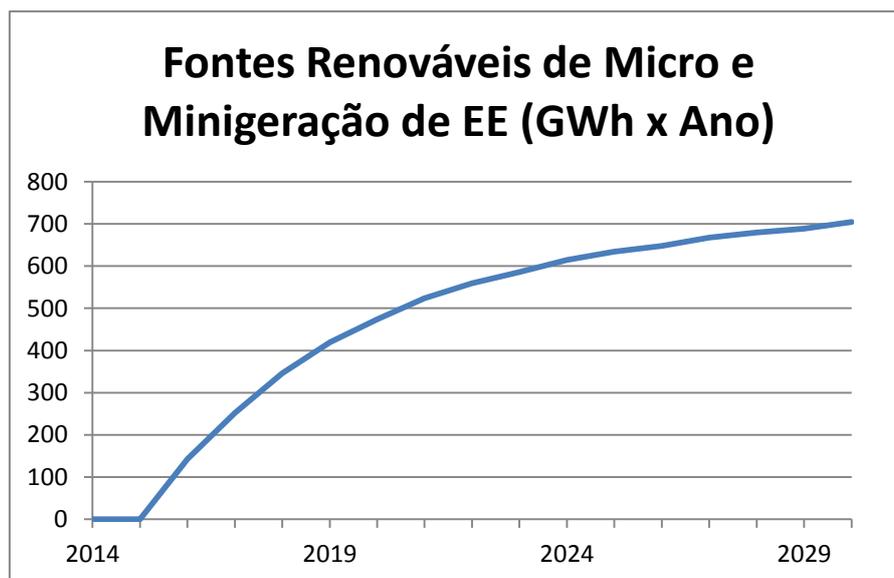
Nas Figuras 38 e 39 são apresentados os resultados desta simulação.

Figura 38: Cenário Otimista – Decisão do Consumidor.



Fonte: O autor.

Figura 39: Cenário Otimista – Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE.

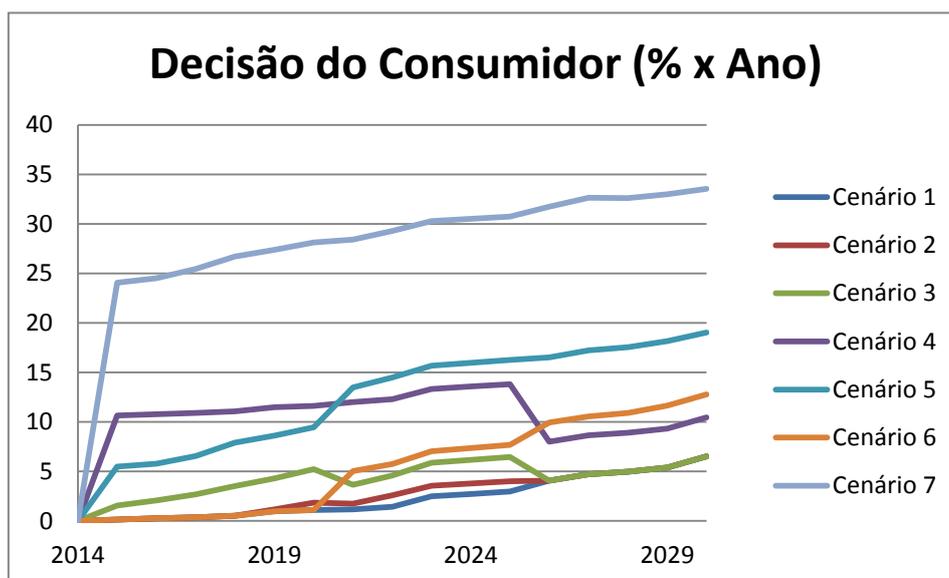


Fonte: O autor.

6.2.8 Comparação entre os cenários

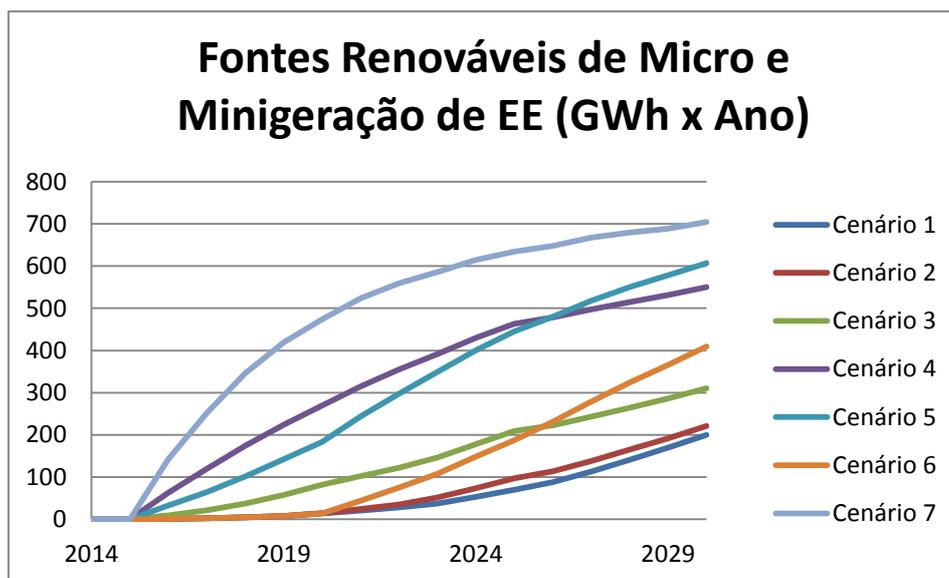
Nas Figuras 40 e 41 é apresentada a comparação entre os cenários construídos.

Figura 40: Comparação entre os cenários – Decisão do Consumidor.



Fonte: O autor.

Figura 41: Comparação entre os cenários – Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE.



Fonte: O autor.

A partir das Figuras 40 e 41 observa-se que a inserção da micro e minigeração é resultado determinante dos instrumentos de políticas adotados e, mesmo que estas não ocorram no sentido de expansão deste mercado, até o horizonte de estudo, deve ser apresentado uma considerável contribuição do potencial.

Para que ocorra esta expansão é necessário estimular a indústria nacional de produção de equipamentos fotovoltaicos, bem como os setores de serviços. Além disso, o alto custo de produção destes equipamentos torna pouco atrativo do ponto de vista financeiro este empreendimento. A tarifa Prêmio e a redução do ICMS na tarifa são incentivos importantes, uma vez que rentabiliza este investimento.

Segundo a EPE (2012), a expectativa é de que a fonte solar fotovoltaica na forma de geração distribuída seja de 364 GWh em 2017 e 1919 GWh em 2022 para todo o Brasil. Esta parcela corresponde a 0,25% e 1,07% do consumo previsto da classe residencial, respectivamente. A ANEEL (2014) apresenta 79 conexões em funcionamento em todo o Brasil, correspondendo à cerca de 7 GWh de energia gerada. Como visto neste estudo, e apresentando o cenário com as políticas atuais, ou seja, no período de 2014, observa-se que este valor está superestimado e que não se deve confirmar.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo desenvolver uma metodologia que capturasse a dinâmica de inserção de fontes de micro e minigeração fotovoltaicas. Como apresentado ao longo do trabalho, a ANEEL viabilizou, através da RN 482, a micro e minigeração a partir de fontes renováveis. Contudo, fatores sociológicos, antropológicos, financeiros e culturais mostram que a população se mantém reluta com relação a esta tecnologia.

Ao término desta pesquisa, conclui-se que o seu objetivo foi alcançado no sentido de proporcionar a avaliação de políticas que exercem influência sobre a Decisão do Consumidor. Para isso, a ferramenta de análise, modelagem e simulação da Dinâmica de Sistemas foi essencial, visto que foi possível relacionar e compreender as políticas de forma sistêmica que impulsionarão a inserção de fontes fotovoltaicas em sistemas de distribuição de energia elétrica.

7.1 CONCLUSÕES

A partir dos cenários e da análise de sensibilidade apresentados no Capítulo 6 e Anexo B, pode-se concluir que para se impulsionar as fontes de micro e minigeração é necessária uma mudança nas políticas atuais. Estas devem ser direcionadas, fundamentalmente, para a implementação da Tarifa Prêmio, avanço nas estratégias de publicidade e redução do ICMS incidente sobre a energia gerada e injetada na rede de distribuição.

Um dos grandes impecílios a geração fotovoltaica distribuída é o custo do investimento financeiro, por ser elevado frente ao retorno financeiro, eleva em muito o tempo de retorno do investimento, tornando-se pouco atraente.

A publicação da Lei Nº 20.824 de 31 de julho de 2013, no estado de Minas Gerais, estabelece que o ICMS deva ser cobrado apenas sobre a diferença positiva entre a energia consumida e a energia injetada. Este argumento é fundamentado no sentido em que a energia injetada é cedida, por meio de empréstimo gratuito e posteriormente compensado. Este é o tipo de política que pode alavancar a micro e minigeração, porém sem a devida divulgação, a informação é ofuscada aos olhos do consumidor.

Como estímulo a indústria nacional no setor de energias renováveis, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) fechou acordo no dia 03 de novembro de 2014 com a Renova Energia. Este acordo tem por objetivo estimular a nacionalização de equipamentos fotovoltaicos, já que para obter este recurso, é necessária uma combinação mínima de módulos e estruturas nacionais. Esta política visa impulsionar a indústria nacional de equipamentos que servirá para reduzir os custos referentes aos equipamentos e estimular os projetos P&D.

Tendo em vista as contribuições apresentadas, observa-se que há a intenção, ainda que fragmentada, de estimular a produção da energia fotovoltaica. Entende-se que estas políticas estão corretas para a alavancagem da micro e minigeração, porém deve-se intervir com maior impacto, a fim de tornar representativo o percentual de energia gerada através de fontes fotovoltaicas distribuídas.

A abordagem do problema de inserção de mini e microgeração distribuída fotovoltaica, visto como um sistema, agregando em um único modelo computacional variáveis técnicas, comportamentais dos agentes de mercado, financeiras, culturais, entre outras, só foi possível com uso da técnica de Dinâmica de Sistemas. Ainda, o modelo aqui desenvolvido, é uma ferramenta de aprendizagem e permite à elaboração de políticas empresariais e regulatórias.

7.2 TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros sugere-se aprimorar algumas variáveis que são consideradas constantes no modelo desenvolvido, como por exemplo, a Tarifa Branca e a Bandeira Tarifária.

Quanto ao tipo de fonte de energia, o modelo deve ser avaliado e estruturado para as demais energias renováveis.

Quanto à evolução das projeções estipuladas para a Tecnologia, PIB, Índice de Crescimento Industrial e Índice de Produção Industrial foram considerados constante ao longo dos anos. Um estudo mais aprofundado destas variáveis pode melhorar a qualidade da projeção.

Deve-se incorporar ao modelo a possibilidade de financiar o Custo de Instalação do sistema ou a dedução do custo no Imposto de Renda, considerando este, influenciando na Decisão do Consumidor.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Espaço do consumidor, Tarifa Branca**. 2014a. Disponível em:
<<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=781>>. Acesso em: 20 de jun. de 2014.
- _____. **Bandeiras Tarifárias**. 2014b. Disponível em:
<<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=758>>. Acesso em: 20 de jun. de 2014.
- _____. **Micro e minigeração distribuída. Sistema de compensação de energia elétrica**. 2014c. Disponível em:
<<http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/caderno-tematico-microeminigeracao.pdf>>. Acesso em 28 de out. de 2014.
- _____. **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – PRODIST**. 2005a. Disponível em:
<<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=82>>. Acesso em: 05 mai. 2014.
- _____. **Procedimentos de regulação tarifária**. 2013a. Disponível em:
<<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=702>>. Acesso em: 13 jun. 2014.
- _____. **Projeto estratégico: “Arranjos técnicos e comerciais para inserção da geração solar fotovoltaica na matriz energética brasileira”**. 2011. Disponível em:
<http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/PeD_2011-ChamadaPE13-2011.pdf>. Acesso em 12 de out. 2014.
- _____. **Resolução Normativa n° 456**. 2000. Disponível em:
<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bres2000456.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2014.
- _____. **Resolução Normativa n° 414**. 2010. Disponível em:
<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2014.
- _____. **Resolução Normativa n° 482**. 2012c. Disponível em:
<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

- _____. **Resolução Normativa n° 502.** 2012b. Disponível em:
<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012502.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2014.
- _____. **Resolução Normativa n° 547.** 2013b. Disponível em:
<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2013547.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2014.
- _____. **Resolução Normativa n° 517.** 2012a. Disponível em:
<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012517.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2014.
- _____. **Tarifas de Fornecimento de Energia Elétrica.** 2005b. Disponível em:
<<http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/caderno4capa.pdf>>. Acesso em 22 de set. 2014.
- ALVEZ, L.B. **Aplicação da dinâmica de sistemas no planejamento de projetos de desenvolvimento: projetos de habitação social.** Florianópolis, 2008.
- ANDRADE, A. L. **Pensamento sistêmico: um roteiro básico para perceber as estruturas da realidade organizacional.** Revista Eletrônica de Administração, 5. ed., v. 3, n. 1, jun. 1997. Disponível em: <<http://read.adm.ufrgs.br/read05/artigo/andrade.htm>>. Acesso em 28 de set. de 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA – ABINEE. **Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira.** 2012. Disponível em:
<<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2014.
- BARDACH, E. **Los Ocho Pasos para el Análisis de Políticas Públicas.** México: Centro de Documentación y Docencia Económicas. 1998.
- BLOIS, Henrique Dias; SOUZA, João Carlos. Cenários Prospectivos e a Dinâmica de Sistemas: proposta de um modelo para o setor calçadista. **Rev. adm. empres.**, São Paulo, v.48, n.3, Set. 2008. Disponível em
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75902008000300004>. Acesso em 15 de out. 2014.
- BUENO, Newton Paulo. O modelo de Solow-Swan na linguagem de dinâmica de sistemas: uma aplicação para o Brasil. **Nova econ.**, Belo Horizonte, v.20, n.2, Ago.

2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-63512010000200003&script=sci_arttext>. Acesso em 15 de out. 2014.

BÜHLER, A. J. **Determinação de parâmetros fotovoltaicos a partir de ensaios de curvas características sem iluminação**. Dissertação de Mestrado, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre. 72 p., 2007.

CEEE – COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA DO RIO GRANDE DO SUL. **Por dentro da conta de luz da CEEE**. 2014. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/cartilha_CEEE_parteII.pdf>. Acesso em 12 out. 2014.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO – CRESESB. **Componentes de um sistema fotovoltaico**. 2014. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/content.php?cid=341>>. Acesso em 12 out. 2014.

DROR, Y. **Public policymaking re-examined**. Oxford, U.K.: Transaction Publishers, 1983.

EHRlich, Pierre J. **Dinâmica de Sistemas na Gestão Empresarial**. 2014. Disponível em <<http://www.easp.fgvsp.br/default.aspx?pagid=DLEHMRPM&navid=487>>. Acesso em 12 out. 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Eficiência energética e geração distribuída**. 2013. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20140102_1.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2014.

ESCHENBACH, T. G. **Spiderplots versus Tornado diagrams for Sensitivity Analysis**. Interfaces, 1999.

FARIA E. M. **Estudo da inserção de mini e microgeração fotovoltaica distribuída na projeção de demanda da classe residencial**. Porto Alegre. 2014

FERNANDES, A. C. **Scorecard dinâmico – em direção à integração da dinâmica de sistemas com o balanced scorecard**. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, 2003.

FORRESTER, J. W. **Industrial dynamics**. New York: John Wiley & Sons, 1961.

GODET, M. **Creating Futures. Scenario Planning as Strategic Management Tool**. Paris: Economica. 2006, p.107-159

HOGHOOD, B.; GUNN, L. **Policy analysis for the real world**. Oxford: Oxford University Press. 1984.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, **Censo Demográfico 2010**. 2013. Disponível em: <www.censo2010.ibge.gov.br>. Acesso em 14 de ago. 2014.

KAUFFMAN, Draper L. **Introduction to system thinking**. New York: Future Systems, 1981.

LAUTENSCHLEGER, A. H. **Projeção de Demanda de Energia Elétrica da Classe Residencial Considerando a Inserção de Micro e Minigeração Fotovoltaica**. Projeto de Diplomação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2013.

MAANI, K.E.; CAVANA, R.Y. **Systems Thinking and Modeling: understanding Chance and Complexity**. Pearson Education New Zeland, 2004.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E.M. **Fundamentos de metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

MATTAR, C. A. C. **Avaliação dos resultados da resolução normativa nº 482/2012 na visão do regulador**. 2014. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/hotsite/mmgd/slides/Carlos%20Alberto%20Calixto%20Matta%20r.pdf>>. Acesso em 20 de out. de 2014.

MEDEIROS JÚNIOR, J.V.; OLIVEIRA, F.P.S.; SOUZA, R.L.R.; ANEZ, M.E.M. **Simulação da dinâmica do “jogo da cerveja” através do software de modelagem e simulação empresarial SIMADM**. 2006. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/275.pdf>. Acesso em 20 de set. de 2014.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Estudo e propostas de utilização de geração fotovoltaica conectada à rede, e particular em edificações urbanas.** 2009. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/mmegtsf.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2014.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY - NREL. **A policymaker's guide to feed-in tariff policy design.** 2010. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy10osti/44849.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2014.

PINHO, J.T.; GALDINO, M.A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em 13 de jun. de 2014.

RAIMUNDINI, S.L. **Modelo baseado em dinâmica de sistemas par demanda de créditos de carbono.** Porto Alegre, 2013.

RAIMUNDINI, S.L.; BORESTEIN, D. **Modelagem em dinâmica de sistemas para o mercado de carbono: Análise das etapas de concepção do modelo para projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo.** 2012. Disponível em <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2012_TN_STO_162_946_20509.pdf>. Acesso em 28 de out. de 2014.

REINALDE, C. F.; VICENTINI, L.; PEREIRA, M.B.C.; YONENAGA, W. **Dinâmica de sistemas: Uma abordagem computacional pra visualizar problemas complexos.** São Paulo, 2005.

RIBEIRO, LUIZ M. F. **Dinâmica de sistemas: Uma ferramenta de experimentação e aprendizado organizacional.** Itajubá. 2002.

ROJASRIVERO, D.; PERDOMO, A.; BARÓN, N. **Teoría General de Sistemas.** 2014. Disponível em: <<http://tgs7233.galeon.com/dinamica.htm>>. Acesso em 28 de set. 2014.

SCHUCH, G. B. **Um modelo para estudos da demanda de energia elétrica em ambiente competitivo.** Tese de Doutorado, UFSC, 2000.

SENGE, P. **Schools that learn.** Doubleday, 2000.

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

SILVA, R.M.; BELDERRAIN, M.C.N. **Considerações sobre análise de sensibilidade em análise de decisão.** 2005. Disponível em:
<<http://www.bibl.ita.br/xencia/Artigos/63.pdf>>. Acesso em 20 de set. de 2014.

SOLAR AND WIND ENERGY RESOURCE ASSESSMENT. **Renewable energy data exploration.** 2014. Disponível em: <<http://maps.nrel.gov/SWERA>>. Acesso em 13 de mai. 2014.

STERMAN, J. D. **Business dynamics: system thinking and modeling for a complex world.** Boston: McGrawHill, 2000.

VILLELA, PAULO R.C. **Introdução à dinâmica de sistemas.** Juiz de Fora. 2005.

ANEXO A

Neste anexo é apresentada a metodologia utilizada para calcular o potencial médio para cada Unidade Consumidora (UC). O Quadro 1 apresenta os valores médios mensais em kWh/dia/m².

Quadro 1: Potencial médio mensal por metro quadrado (kWh/dia/m²).

Municípios CEEE D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Alvorada	6,39	5,73	4,98	4,17	3,03	2,87	2,66	3,46	4,42	4,68	6,45	6,77
Amaral Ferrador	6,48	5,55	4,68	3,68	2,96	2,50	2,59	3,42	4,29	5,18	5,97	6,71
Arambaré	6,85	5,39	5,21	3,94	3,15	2,87	2,14	3,82	4,54	4,93	6,27	6,87
Arroio do Padre	6,54	5,19	4,93	3,67	3,08	2,53	1,99	3,74	4,52	4,84	6,18	6,76
Arroio do Sal	6,29	5,66	5,06	4,01	3,26	2,87	2,78	3,59	4,34	5,08	5,97	6,47
Arroio dos Ratos	6,78	5,83	5,15	3,92	3,04	2,71	2,67	3,57	4,39	5,29	6,26	6,83
Arroio Grande	6,70	5,16	4,97	3,54	2,93	2,37	2,34	3,63	4,69	4,76	6,19	6,88
Bagé	6,92	5,95	4,91	3,82	3,04	2,56	2,70	3,60	4,48	5,59	6,43	7,12
Balneário Pinhal	6,56	5,83	5,27	4,36	3,14	2,82	2,44	3,54	4,52	4,62	6,25	6,87
Barão do Triunfo	6,60	5,59	4,93	3,82	3,02	2,65	2,72	3,55	4,38	5,28	6,07	6,71
Barra do Ribeiro	6,54	5,51	5,17	4,12	2,97	2,74	2,48	3,69	4,48	4,53	6,55	6,73
Butiá	6,36	5,24	5,40	4,15	3,05	2,80	2,19	3,82	4,64	4,59	6,38	6,65
Camaquã	6,90	5,23	5,01	3,91	3,05	2,73	2,11	3,81	4,55	4,67	5,99	6,54
Candiota	6,65	5,63	5,09	3,62	3,05	2,64	2,50	3,75	4,69	4,85	6,34	6,99
Canguçu	6,60	4,97	5,03	3,91	3,04	2,63	2,11	3,83	4,60	4,54	5,83	6,47
Capão da Canoa	6,40	5,73	4,99	4,50	3,24	2,84	2,53	3,53	4,43	4,34	6,37	6,67
Capão do Leão	6,62	5,15	4,80	3,60	3,12	2,62	2,02	3,72	4,49	4,90	6,20	6,64
Capivari do Sul	6,25	6,02	5,24	4,23	3,07	2,71	2,51	3,44	4,50	4,72	5,82	6,36
Caraá	6,62	5,83	5,19	4,25	2,91	2,88	2,61	3,58	4,48	4,50	5,89	6,28
Cerrito	6,76	5,70	4,72	3,86	2,85	2,53	2,56	3,34	4,30	5,27	6,22	6,89
Cerro Grande do Sul	6,68	5,20	4,91	3,97	2,97	2,73	2,01	3,82	4,60	4,60	5,79	6,63
Charqueadas	6,55	5,43	5,35	4,16	3,04	2,84	2,43	3,80	4,59	4,66	6,51	6,98
Chuí	6,87	5,57	4,97	3,54	2,87	2,11	2,18	3,40	4,56	4,71	6,18	6,94
Chувиска	6,83	5,21	5,11	3,82	2,90	2,73	2,04	3,83	2,56	4,72	5,72	6,41
Cidreira	6,53	5,80	5,20	4,42	3,14	2,81	2,51	3,50	4,47	4,57	6,26	6,77
Cristal	6,76	5,33	5,13	3,85	3,03	2,59	1,89	3,79	4,66	4,59	5,97	6,76
Dom Feliciano	6,66	5,32	5,11	3,88	2,90	2,74	2,04	2,84	4,55	4,73	5,73	6,44
Dom Pedrito	6,78	5,62	5,40	4,03	3,13	2,50	2,54	4,03	4,79	4,94	6,21	7,10
Dom Pedro de Alcântara	6,05	5,72	4,46	4,60	3,28	2,79	2,57	3,76	4,41	4,45	5,92	6,32
Eldorado do Sul	6,52	5,45	5,29	4,15	3,04	2,82	2,42	3,83	4,61	4,49	6,38	6,88
Encruzilhada do Sul	6,52	5,62	5,23	4,03	3,04	2,78	2,19	3,91	4,73	4,83	6,08	6,68
Guaíba	6,36	5,47	5,26	4,09	3,08	2,84	2,64	3,64	4,50	4,65	6,43	6,87

Continuação do Quadro 1												
Municípios CEEE D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Herval	6,68	5,33	5,05	3,62	2,99	2,54	2,52	3,75	4,80	4,69	6,11	6,90
Hulha Negra	6,62	5,64	5,14	3,67	3,06	2,52	2,39	3,80	4,70	4,90	6,24	6,92
Imbé	6,35	5,83	5,20	4,44	3,19	2,82	2,49	3,46	4,38	4,30	6,19	6,75
Itati	5,79	5,13	4,75	4,60	3,30	3,01	2,62	3,83	4,50	4,59	5,74	6,06
Jaguarão	6,81	5,31	4,94	3,43	2,93	2,31	2,45	3,56	4,80	4,70	6,14	6,74
Lavras do Sul	6,37	5,62	5,40	4,03	3,07	2,45	2,49	3,95	4,74	4,77	6,51	6,68
Mampituba	5,75	5,28	4,45	4,58	3,31	2,67	2,59	3,83	4,40	4,32	5,66	5,92
Maquiné	6,09	5,57	4,68	4,39	3,07	2,98	2,58	3,67	4,48	4,42	6,11	6,43
Mariana Pimentel	6,62	5,44	5,30	4,16	2,99	2,72	2,09	3,87	4,61	4,43	5,83	6,52
Minas do Leão	6,36	5,25	5,21	4,06	3,05	2,78	2,19	3,85	4,66	4,67	6,40	6,65
Morrinhos do Sul	5,83	5,40	4,45	4,62	3,30	2,83	2,60	3,80	4,44	4,42	5,72	6,09
Morro Redondo	6,55	4,95	4,92	3,71	3,09	2,60	2,08	3,83	4,57	4,65	6,04	6,64
Mostardas	6,54	5,18	5,03	3,86	3,06	2,58	2,05	3,71	4,50	4,83	6,31	6,60
Osório	6,40	5,77	5,10	4,39	3,10	2,79	2,62	3,50	4,32	4,17	6,16	6,48
Palmares do Sul	6,35	5,93	5,29	4,23	3,07	2,69	2,48	3,42	4,51	4,76	5,89	6,41
Pantano Grande	6,51	5,46	5,38	3,86	3,19	2,72	2,05	3,86	4,76	4,79	6,32	7,06
Pedras Altas	6,67	5,38	5,14	3,71	2,96	2,60	2,53	3,79	4,66	4,78	6,04	6,71
Pedro Osório	6,83	4,84	4,86	3,47	3,09	2,55	2,39	3,62	4,67	4,81	6,01	6,48
Pelotas	6,48	5,61	4,74	3,64	2,92	2,43	2,50	3,41	4,30	5,26	6,08	6,81
Pinheiro Machado	6,56	5,23	5,12	3,69	3,13	2,54	2,36	3,93	4,60	4,73	6,09	6,54
Piratini	6,61	5,23	4,92	3,80	3,07	2,74	2,19	3,87	4,61	4,71	5,89	6,52
Porto Alegre	6,36	5,56	5,03	4,21	3,08	2,87	2,60	3,57	4,44	4,70	6,48	6,71
Rio Grande	6,71	4,55	4,90	3,68	2,97	2,68	1,99	3,71	4,40	4,86	6,62	7,11
Sant Vitória Palmar	6,87	5,57	4,97	3,54	2,88	2,11	2,18	3,41	4,56	4,71	6,18	6,94
Santo Antônio da Patrolha	6,50	6,00	5,09	4,10	2,87	2,88	2,61	3,46	4,51	4,76	6,03	6,25
São Jerônimo	6,40	5,45	5,38	4,13	3,00	2,81	2,34	3,81	4,62	4,56	6,45	6,81
São José do Norte	6,77	4,98	4,86	3,74	3,00	2,63	1,95	3,72	4,45	4,96	6,59	7,06
São Lourenço do Sul	6,99	5,23	5,22	3,73	3,05	2,66	1,89	3,74	4,55	5,03	6,36	6,88
Sentinela do Sul	6,80	5,45	4,95	4,10	2,93	2,92	2,23	3,76	4,62	4,71	6,18	6,84
Sertão Santana	6,82	5,34	4,94	4,13	2,98	2,84	2,21	3,76	4,60	4,39	6,20	6,72
Tapes	6,79	5,55	5,16	4,05	3,00	2,95	2,12	3,81	4,60	4,84	6,39	6,81
Tavares	6,86	5,06	5,04	3,78	3,11	2,59	2,09	3,75	4,40	4,99	6,48	6,75
Terra de Areia	6,25	5,57	4,46	4,46	3,19	2,89	2,57	3,66	4,51	4,46	6,09	5,42
Torres	6,27	5,77	4,77	4,67	3,31	2,77	2,55	3,71	4,50	4,43	6,19	6,58
Tramandaí	6,35	5,83	5,20	4,44	3,19	2,82	2,49	3,46	4,38	4,30	6,19	6,75
Três Cachoeiras	5,99	5,37	4,43	4,63	3,30	2,91	2,58	3,78	4,46	4,48	5,84	6,40
Três Forquilhas	5,84	5,21	4,52	4,45	3,19	2,99	2,60	3,71	4,50	4,55	5,95	6,17
Turuçu	6,69	4,92	4,98	3,75	3,09	2,57	2,02	3,74	4,50	4,91	6,07	6,82
Viamão	6,40	5,73	4,90	4,20	3,07	2,93	2,62	3,52	4,43	4,64	6,48	6,71
Xangri-lá	6,40	5,73	4,99	4,50	3,24	2,84	2,53	3,53	4,43	4,34	6,37	6,67

Fonte: Adaptado de SWERA, 2014.

Obtidas as médias mensais é realizada a média aritmética anual conforme a Equação (A1).

$$PO \text{ médio anual por metro quadrado} = \frac{\sum \text{média mensal}}{12} \times 365 \text{ [kWh/ano/m}^2\text{]} \quad (A1)$$

Para se calcular o potencial médio anual utilizou-se a estimativa de 60m² para residências com média salarial entre 10 e 20 salários mínimos e 80m² para residências com média salarial acima de 20 salários mínimos. Ainda, limitou-se a energia compensada da instalação pela média mensal de consumo de energia elétrica. Para isso, utilizou-se uma média de consumo de 250 kWh para residências com média salarial entre 10 e 20 salários mínimos e 350 kWh para residências com média salarial acima de 20 salários mínimos como potencial limitador, visto que os consumidores não instalarão um potencial acima do seu consumo, já que não podem vender a energia excedente. Assim, construiu-se o Quadro 2, no qual é apresentado o potencial médio por cidade, o número de habitantes com renda entre 10 e 20 salários mínimos, com renda superior a 20 salários mínimo e a energia média mensal por cidade.

Quadro 2: Energia média mensal.

Municípios CEEE D	Média (kWh/m ² por dia)	Número de Domicílios Particular Permanente com renda entre 10 à 20 salários mínimos	Número de Domicílios Particular Permanente com renda superior à 20 salários mínimos	Energia mensal por cidade
Alvorada	4,667	1.761	435	592.500
Amaral Ferrador	4,5	32	9	11.150
Arambaré	4,662	41	14	15.150
Arroio do Padre	4,528	67	33	28.300
Arroio do Sal	4,613	167	35	54.000
Arroio dos Ratos	4,703	166	40	55.500
Arroio Grande	4,572	214	38	66.800
Bagé	4,761	2.135	984	878.150
Balneário Pinhal	4,644	209	15	57.500
Barão do Triunfo	4,609	27	19	13.400
Barra do Ribeiro	4,637	145	41	50.600
Butiá	4,582	143	112	74.950
Camaquã	4,63	933	210	306.750
Candiota	4,579	117	43	44.300
Canguçu	4,467	741	132	231.450

Continuação do Quadro 2				
Municípios CEEE D	Média (kWh/m ² por dia)	Número de Domicílios Particular Permanente com renda entre 10 à 20 salários mínimos	Número de Domicílios Particular Permanente com renda superior à 20 salários mínimos	Energia mensal por cidade
Capão da Canoa	4,636	816	285	303.750
Capão do Leão	4,457	126	61	52.850
Capivari do Sul	4,613	56	29	24.150
Caraá	4,587	43	10	14.250
Cerrito	4,56	38	18	15.800
Cerro Grande do Sul	4,571	14	10	7.000
Charqueadas	4,652	515	149	180.900
Chuí	4,494	39	24	18.150
Chувиска	4,541	26	10	10.000
Cidreira	4,662	277	56	88.850
Cristal	4,576	83	24	29.150
Dom Feliciano	4,524	71	11	21.600
Dom Pedrito	4,744	597	268	243.050
Dom Pedro de Alcântara	4,624	6	14	6.400
Eldorado do Sul	4,624	532	164	190.400
Encruzilhada do Sul	4,57	174	94	76.400
Guaíba	4,625	1.683	457	580.700
Herval	4,535	0	0	0
Hulha Negra	4,618	48	15	17.250
Imbé	4,65	393	117	139.200
Itati	4,532	13	4	4.650
Jaguarão	4,569	290	107	109.950
Lavras do Sul	4,665	80	25	28.750
Mampituba	4,555	15	6	5.850
Maquiné	4,585	68	22	24.700
Mariana Pimentel	4,548	31	15	13.000
Minas do Leão	4,581	43	20	17.750
Morrinhos do Sul	4,586	14	12	7.700
Morro Redondo	4,488	74	28	28.300
Mostardas	4,563	129	61	53.600
Osório	4,621	971	357	367.700
Palmares do Sul	4,602	81	66	43.350
Pantano Grande	4,624	51	30	23.250
Pedras Altas	4,586	21	5	7.000
Pedro Osório	4,467	39	27	19.200
Pelotas	4,514	7.521	3.204	3.001.650
Pinheiro Machado	4,545	149	24	45.650
Piratini	4,476	145	62	57.950

Continuação do Quadro 2				
Municípios CEEE D	Média (kWh/m ² por dia)	Número de Domicílios Particular Permanente com renda entre 10 à 20 salários mínimos	Número de Domicílios Particular Permanente com renda superior à 20 salários mínimos	Energia mensal por cidade
Porto Alegre	4,647	73.799	50.273	#####
Rio Grande	4,571	4.738	1.688	1.775.300
Santa Vitória do Palmar	4,494	328	209	155.150
Santo Antônio da Patrulha	4,593	536	146	185.100
São Jerônimo	4,639	324	179	143.650
São José do Norte	4,569	187	42	61.450
São Lourenço do Sul	4,638	921	240	314.250
Sentinela do Sul	4,668	10	28	12.300
Sertão Santana	4,643	75	35	31.000
Tapes	4,693	191	73	73.300
Tavares	4,596	78	11	23.350
Terra de Areia	4,64	159	29	49.900
Torres	4,621	829	242	291.950
Tramandaí	4,65	731	223	260.800
Três Cachoeiras	4,613	136	47	50.450
Três Forquilhas	4,567	19	3	5.800
Turuçu	4,582	32	23	16.050
Viamão	4,668	3.535	1.144	1.284.150
Xangri-lá	4,636	246	69	85.650

Fonte: O autor.

Somando os potenciais obtidos para cada cidade tem-se que o potencial anual que poderá ser aproveitado é de 59,07 GWh/ano. Realizando-se a distribuição deste potencial por todas as unidades consumidoras das cidades estudadas, obtém-se um potencial médio de 274,14 kWh/ mês.

ANEXO B

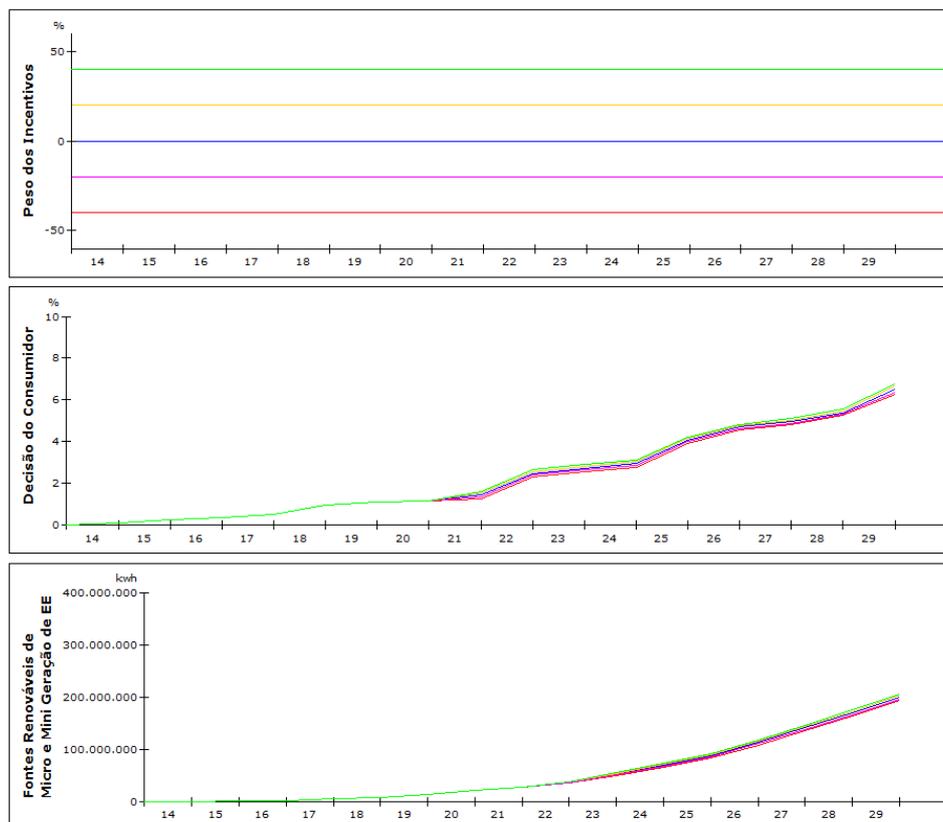
Neste anexo é apresentada às demais variáveis as quais foram aplicadas a análise de sensibilidade. Da mesma maneira que foi realizada no Capítulo 6, é apresentado a dinâmica com relação às variáveis através das Figuras 1 a 16 e dos Quadros 1 a 16.

Quadro 1: Análise de sensibilidade – Peso dos incentivos.

Peso dos Incentivos	Decisão do Consumidor	Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de EE
-40,00%	6,26 %	193.154.829,67 kWh
-20,00%	6,39 %	196.574.368,51 kWh
0,00%	6,52 %	199.894.045,02 kWh
20,00%	6,65 %	203.118.106,13 kWh
40,00%	6,77 %	206.561.551,69 kWh

Fonte: O autor.

Figura 1: Análise de sensibilidade – Peso dos incentivos.



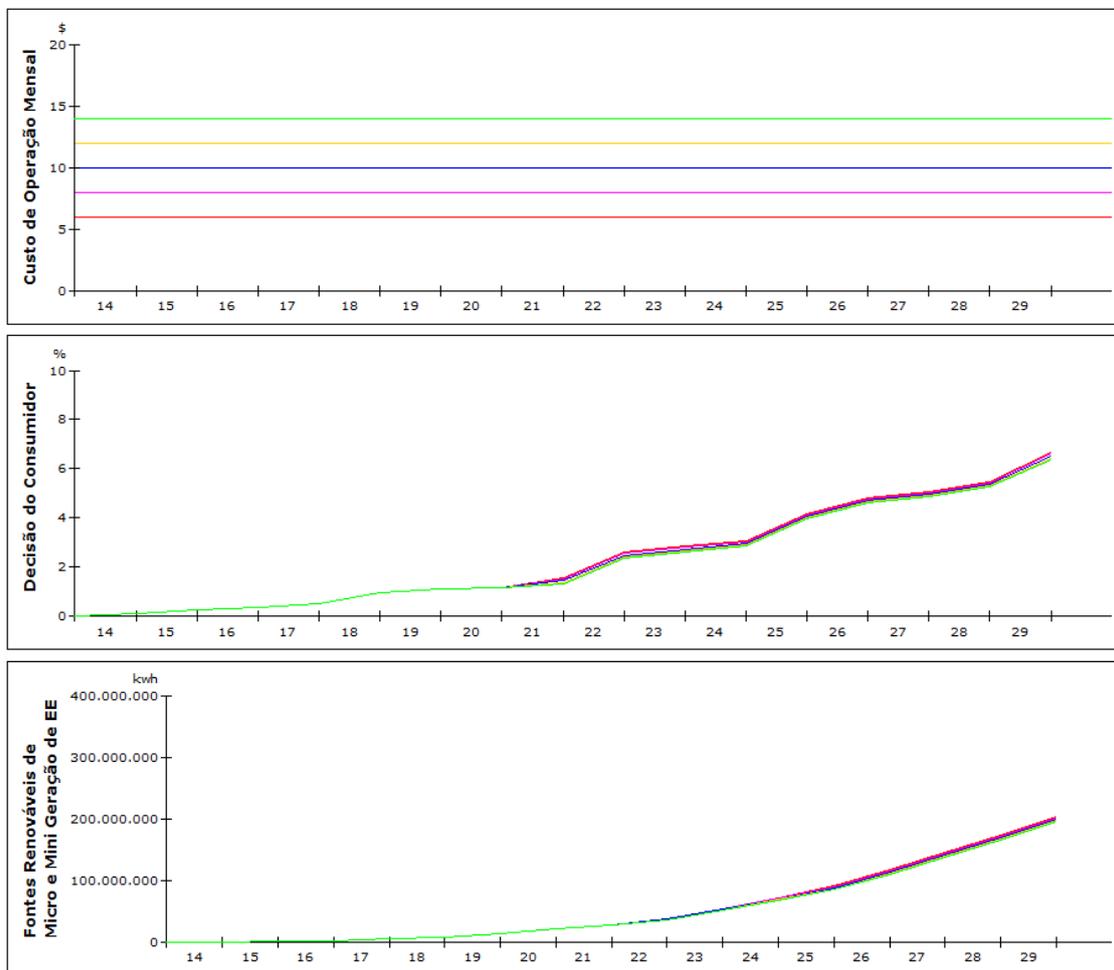
Fonte: O autor.

Quadro 2: Análise de sensibilidade – Custo de operação mensal.

Custo de Operação Mensal	Decisão do Consumidor	Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de EE
R\$ 6,00	6,69 %	204.535.417,25 kWh
R\$ 8,00	6,61 %	202.186.570,60 kWh
R\$ 10,00	6,52 %	199.894.045,02 kWh
R\$ 12,00	6,43 %	197.597.810,16 kWh
R\$ 14,00	6,35 %	195.297.907,61 kWh

Fonte: O autor.

Figura 2: Análise de sensibilidade – Custo de operação mensal.



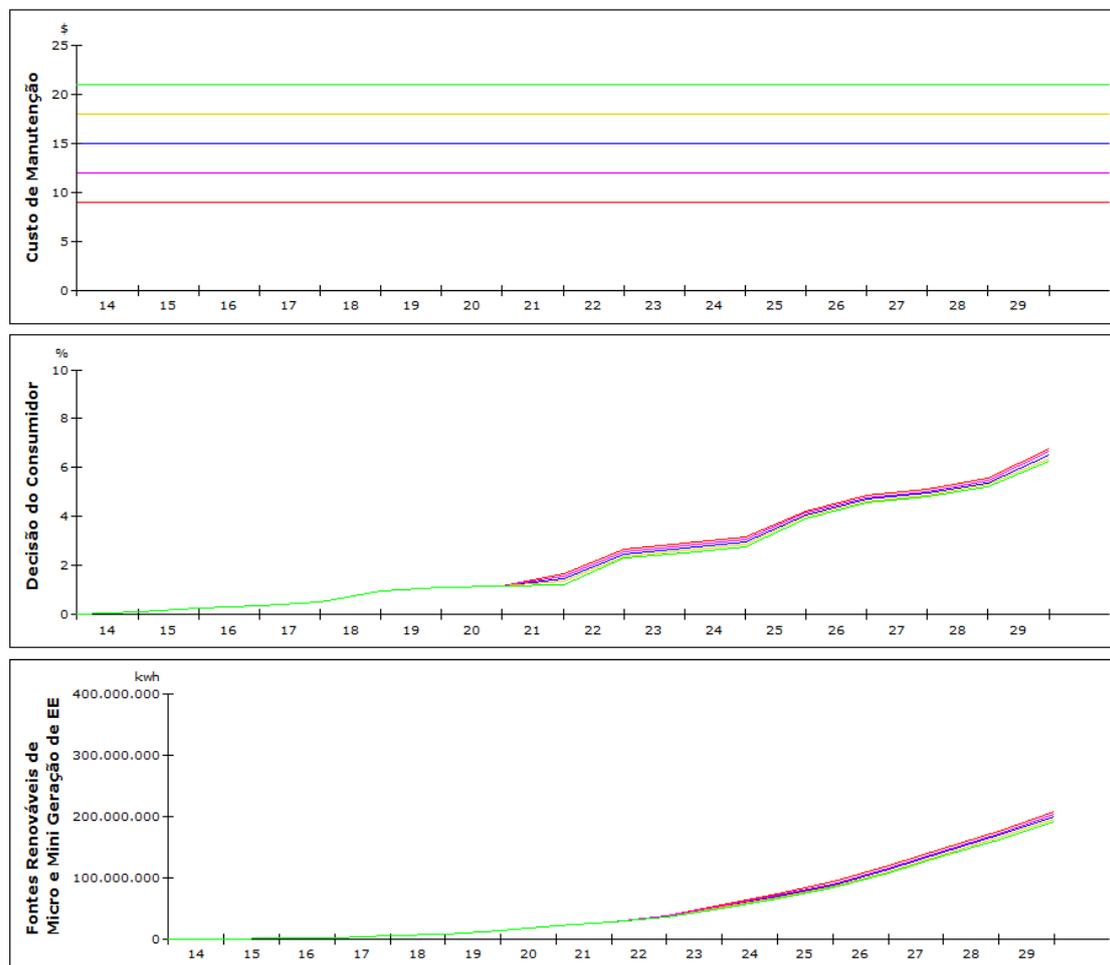
Fonte: O autor.

Quadro 3: Análise de sensibilidade – Custo de manutenção mensal.

Custo de Manutenção Mensal	Decisão do Consumidor	Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de EE
R\$ 9,00	6,78 %	207.279.580,03 kWh
R\$ 12,00	6,65 %	203.419.064,37 kWh
R\$ 15,00	6,52 %	199.894.045,02 kWh
R\$ 18,00	6,39 %	196.335.759,14 kWh
R\$ 21,00	6,25 %	192.770.155,75 kWh

Fonte: O autor.

Figura 3: Análise de sensibilidade – Custo de manutenção mensal.



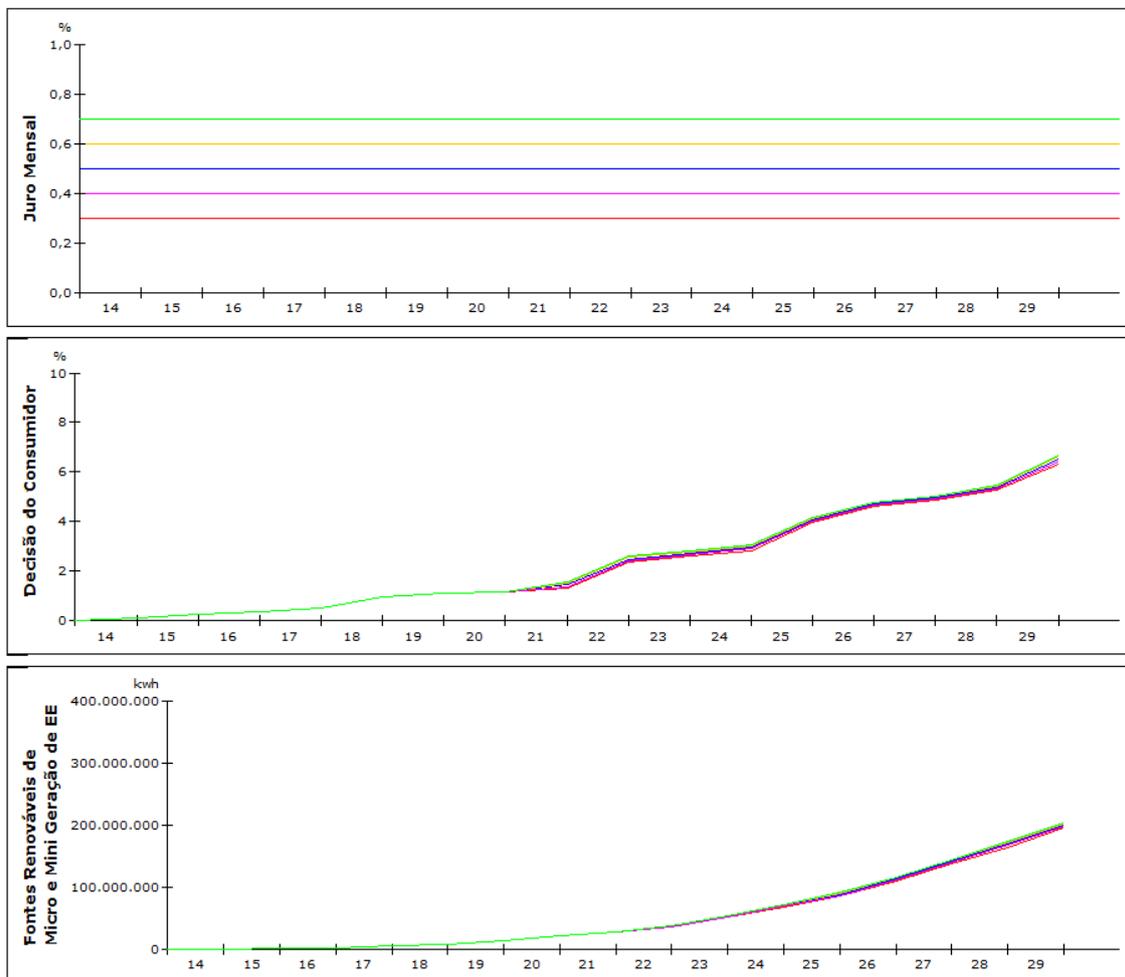
Fonte: O autor.

Quadro 4: Análise de sensibilidade – Juros.

Juros	Decisão do Consumidor	Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de EE
0,30 %	6,34 %	194.962.224,49 kWh
0,40 %	6,43 %	197.560.592,24 kWh
0,50 %	6,52 %	199.894.045,02 kWh
0,60 %	6,60 %	201.979.897,11 kWh
0,70 %	6,67 %	203.901.133,27 kWh

Fonte: O autor.

Figura 4: Análise de sensibilidade – Juros.



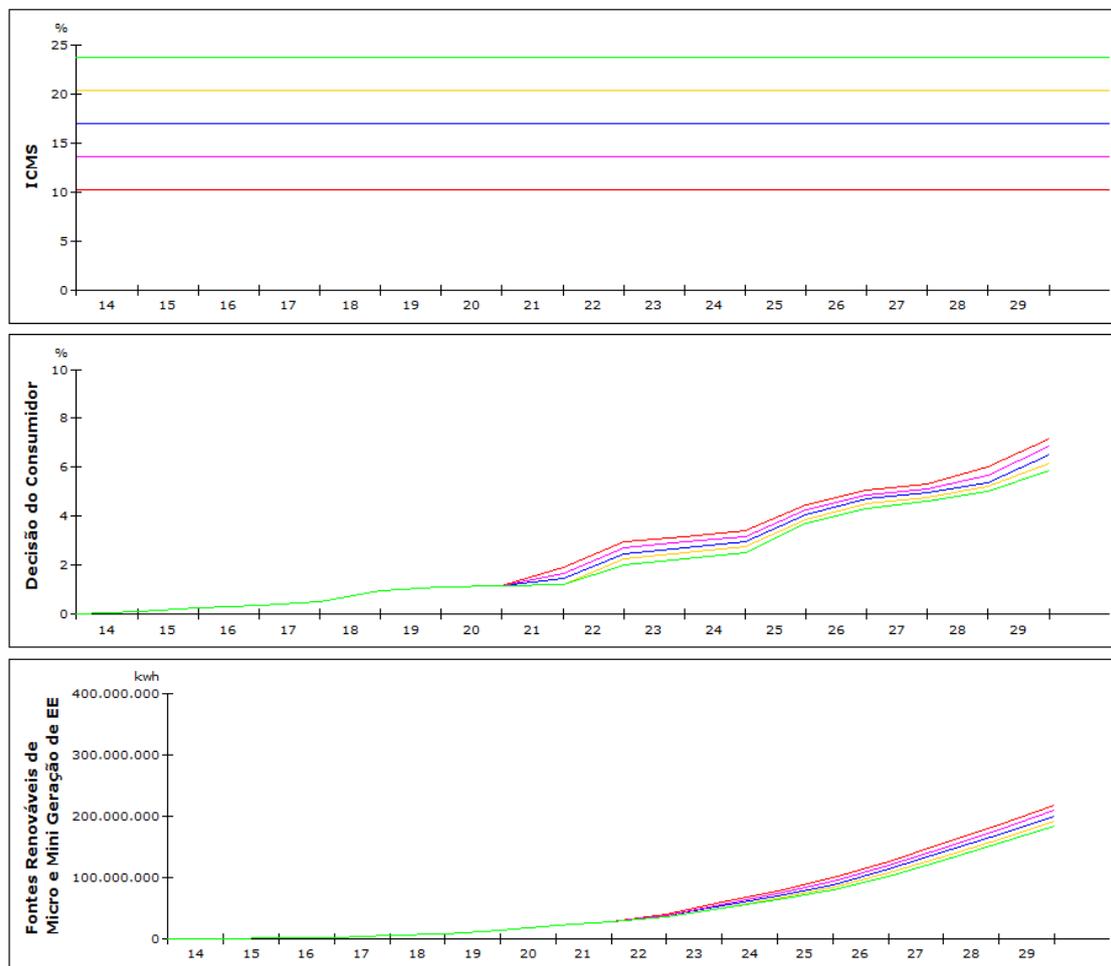
Fonte: O autor.

Quadro 5: Análise de sensibilidade – ICMS.

ICMS	Decisão do Consumidor	Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de EE
10,20 %	7,18 %	218.146.025,17 kWh
13,60 %	6,85 %	208.833.521,94 kWh
17,00 %	6,52 %	199.894.045,02 kWh
20,40 %	6,19 %	191.583.017,49 kWh
23,80 %	5,86 %	184.158.503,88 kWh

Fonte: O autor.

Figura 5: Análise de sensibilidade – ICMS.



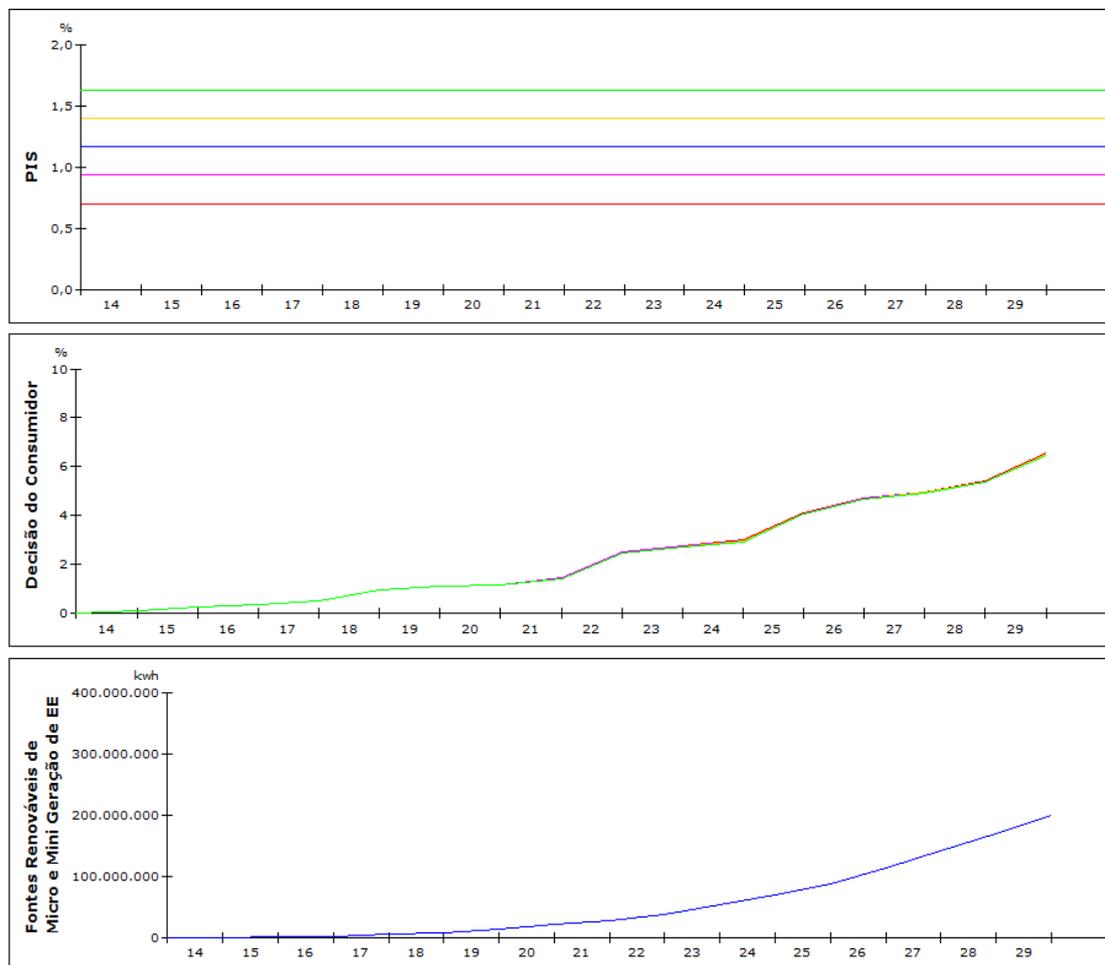
Fonte: O autor.

Quadro 6: Análise de sensibilidade – PIS.

PIS	Decisão do Consumidor	Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de EE
0,7000 %	6,57 %	201.049.087,20 kWh
0,9333 %	6,54 %	200.471.951,10 kWh
1,1667 %	6,52 %	199.894.045,02 kWh
1,4000 %	6,50 %	199.315.715,09 kWh
1,6334 %	6,47 %	198.736.613,72 kWh

Fonte: O autor.

Figura 6: Análise de sensibilidade – PIS.



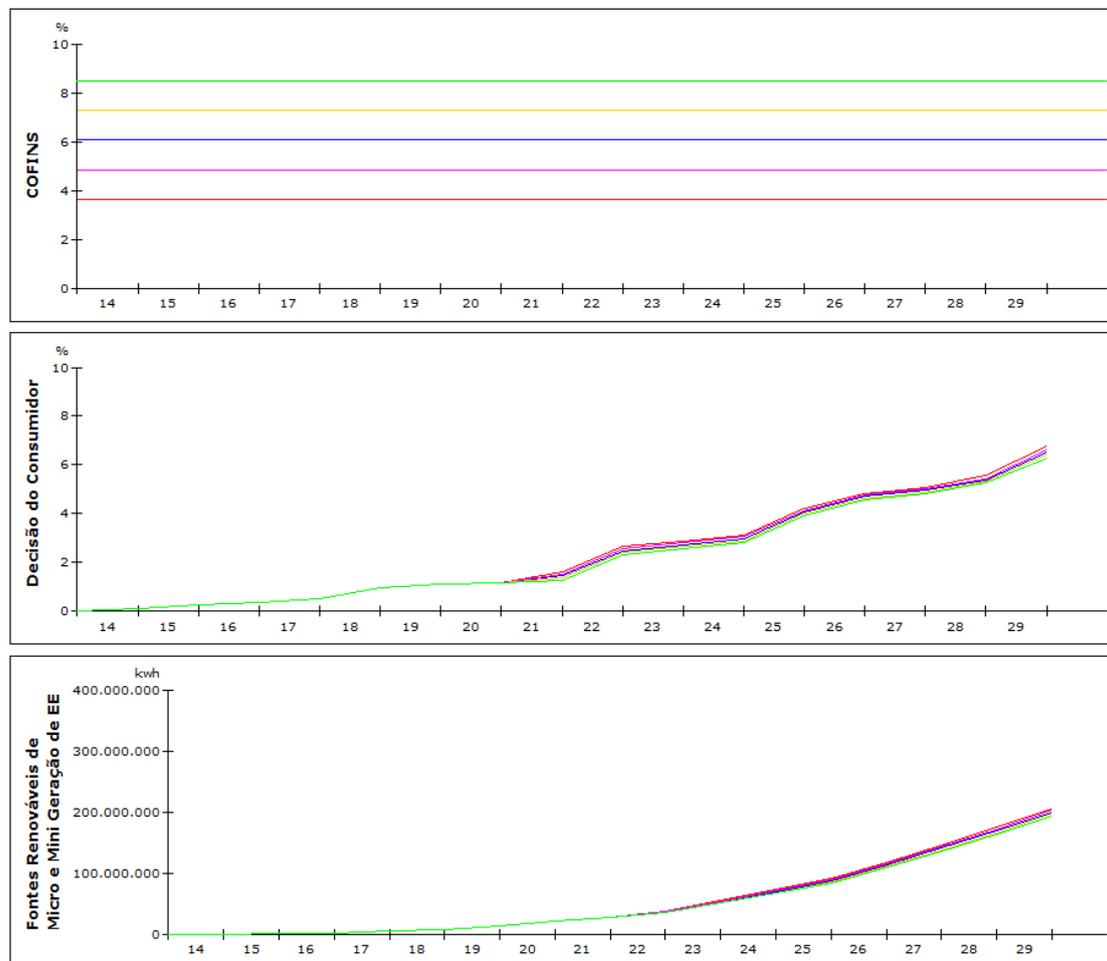
Fonte: O autor.

Quadro 7: Análise de sensibilidade – COFINS.

COFINS	Decisão do Consumidor	Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de EE
3,65 %	6,76 %	206.151.713,72 kWh
4,86 %	6,64 %	202.910.918,94 kWh
6,08 %	6,52 %	199.894.045,02 kWh
7,30 %	6,40 %	196.865.887,45 kWh
8,51 %	6,28 %	193.844.859,63 kWh

Fonte: O autor.

Figura 7: Análise de sensibilidade – COFINS.



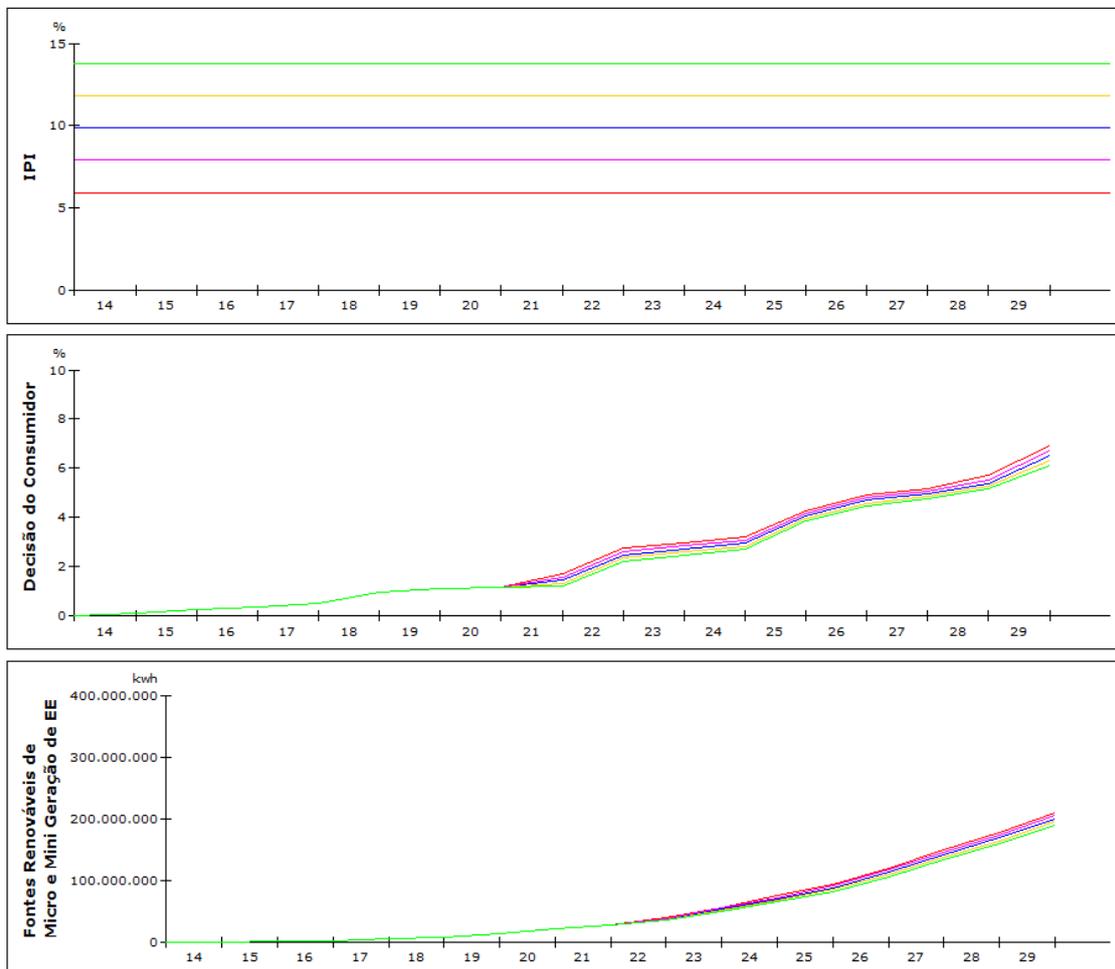
Fonte: O autor.

Quadro 8: Análise de sensibilidade – IPI.

IPI	Decisão do Consumidor	Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de EE
5,93 %	6,90 %	210.354.489,65 kWh
7,90 %	6,71 %	204.904.326,82 kWh
9,88 %	6,52 %	199.894.045,02 kWh
11,86 %	6,33 %	194.972.117,54 kWh
13,83 %	6,14 %	190.391.708,24 kWh

Fonte: O autor.

Figura 8: Análise de sensibilidade – IPI.



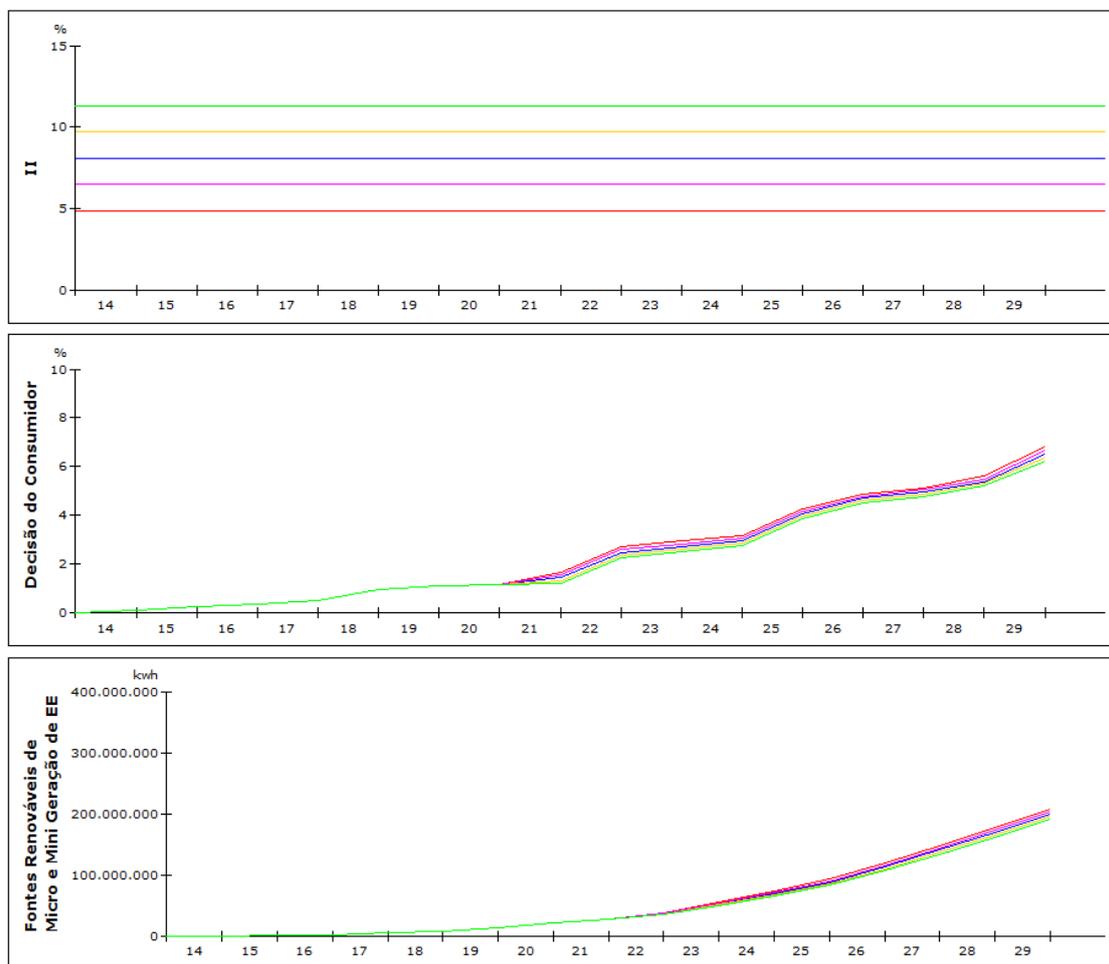
Fonte: O autor.

Quadro 9: Análise de sensibilidade – II.

II	Decisão do Consumidor	Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de EE
4,85 %	6,83 %	208.394.602,89 kWh
6,47 %	6,68 %	203.901.476,67 kWh
8,09 %	6,52 %	199.894.045,02 kWh
9,71 %	6,36 %	195.869.624,50 kWh
11,33 %	6,21 %	191.932.782,09 kWh

Fonte: O autor.

Figura 9: Análise de sensibilidade – II.



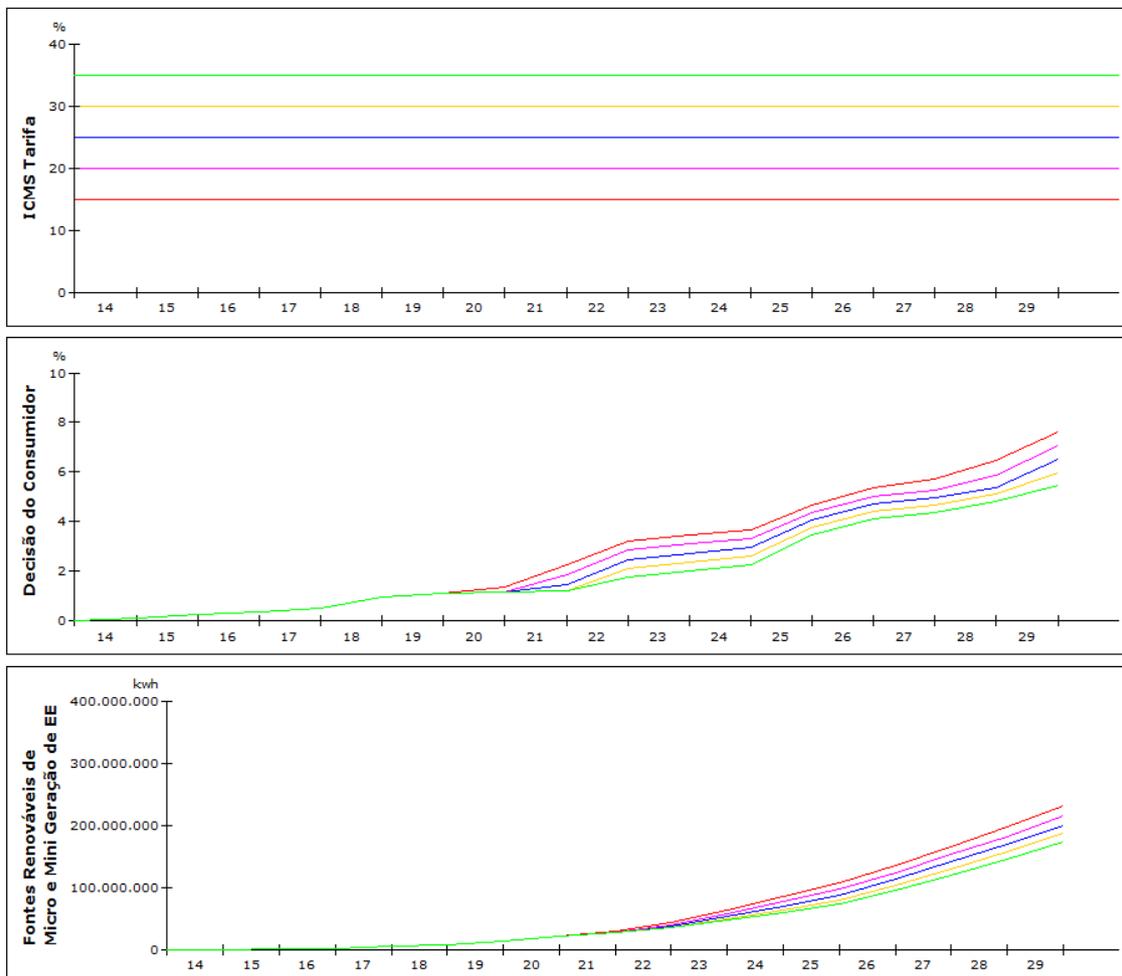
Fonte: O autor.

Quadro 10: Análise de sensibilidade – ICMS Tarifa.

ICMS Tarifa	Decisão do Consumidor	Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de EE
15,00 %	7,60 %	231.972.453,79 kWh
20,00 %	7,06 %	214.846.751,94 kWh
25,00 %	6,52 %	199.894.045,02 kWh
30,00 %	5,98 %	186.821.900,57 kWh
35,00 %	5,49 %	174.541.267,81 kWh

Fonte: O autor.

Figura 10: Análise de sensibilidade – ICMS Tarifa.



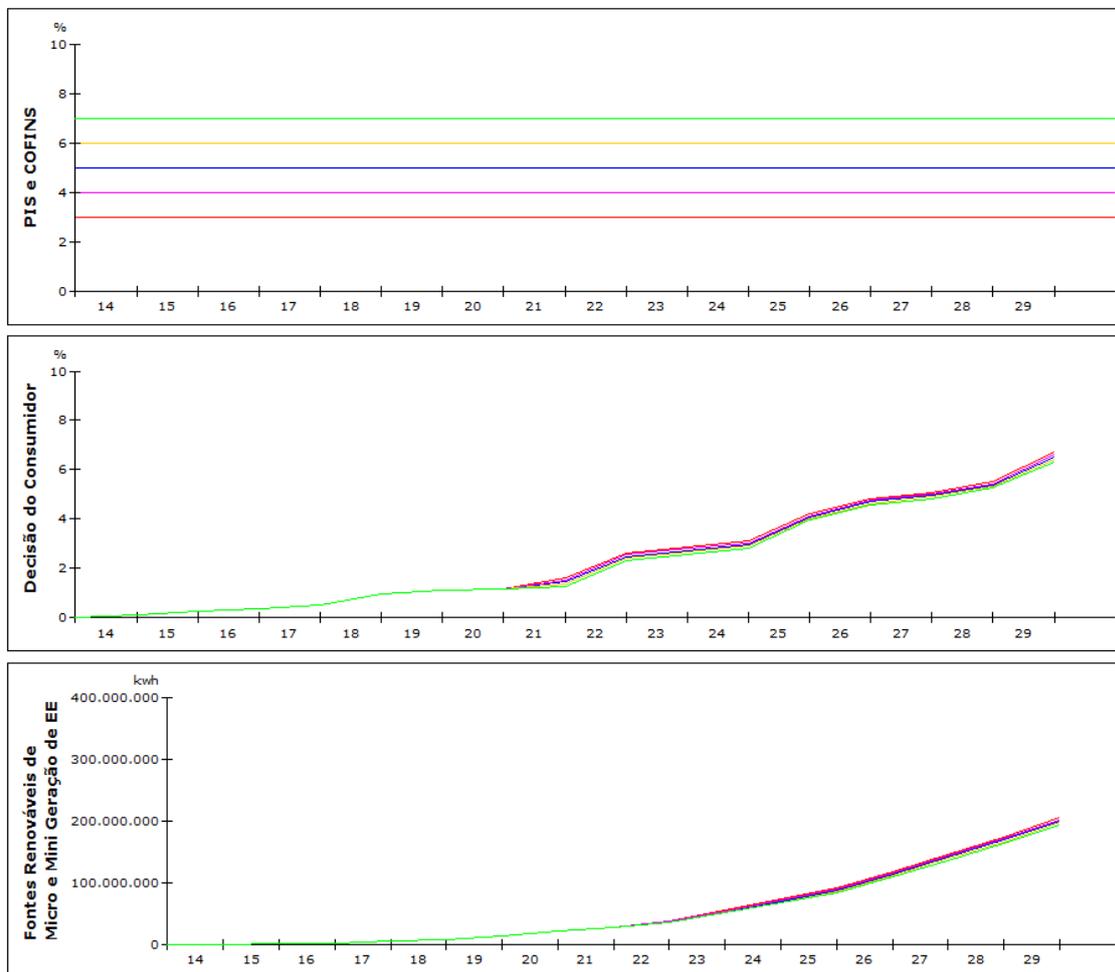
Fonte: O autor.

Quadro 11: Análise de sensibilidade – PIS e COFINS Tarifa.

PIS e CONFINS Tarifa	Decisão do Consumidor	Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de EE
3,00 %	6,74 %	205.612.786,69 kWh
4,00 %	6,63 %	202.661.311,55 kWh
5,00 %	6,52 %	199.894.045,02 kWh
6,00 %	6,41 %	197.121.732,82 kWh
7,00 %	6,30 %	194.332.176,27 kWh

Fonte: O autor.

Figura 11: Análise de sensibilidade – PIS e COFINS Tarifa.



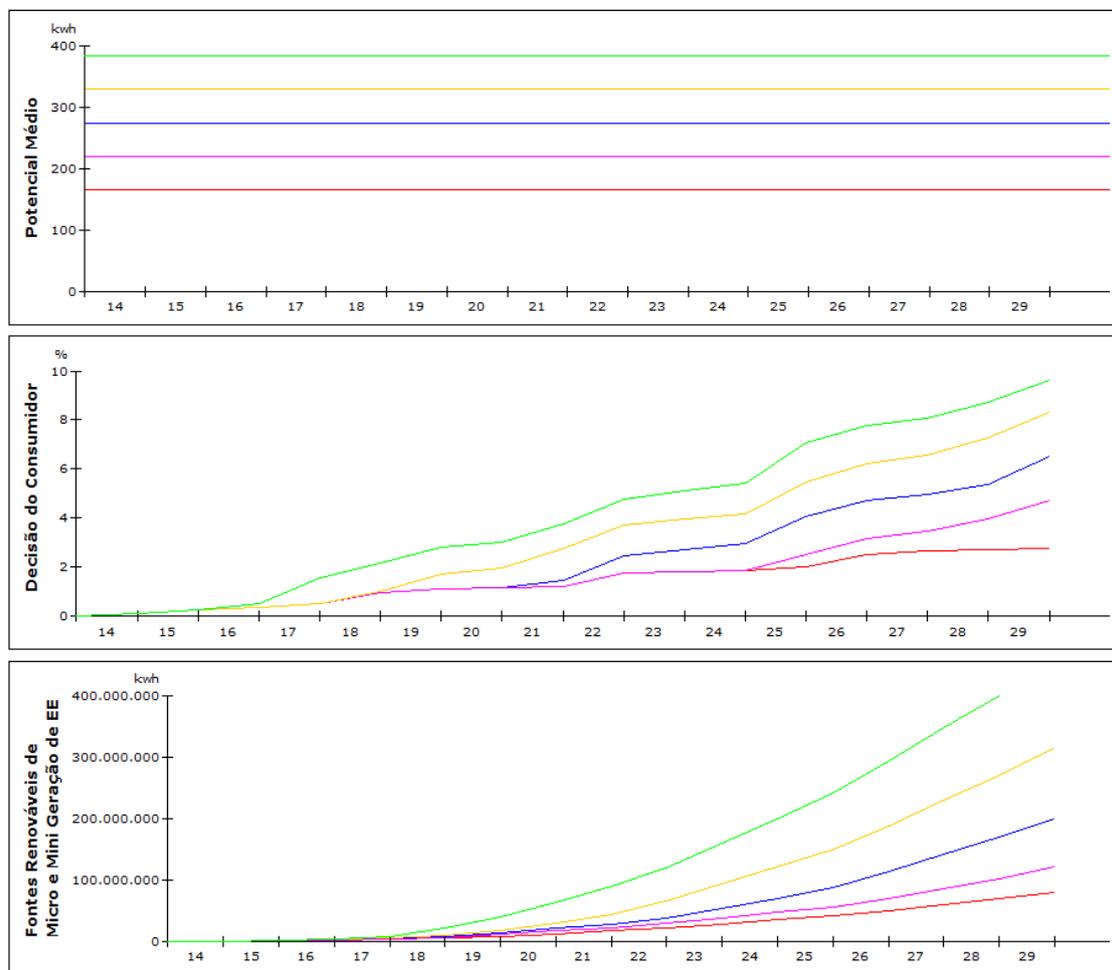
Fonte: O autor.

Quadro 12: Análise de sensibilidade – Potencial médio.

Potencial Médio	Decisão do Consumidor	Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de EE
164,48 kWh	2,78 %	78.913.199,00 kWh
219,31 kWh	4,73 %	120.929.546,31 kWh
274,14 kWh	6,52 %	199.894.045,02 kWh
328,97 kWh	8,32 %	315.314.465,43 kWh
383,80 kWh	9,60 %	455.495.833,78 kWh

Fonte: O autor.

Figura 12: Análise de sensibilidade – Potencial médio.



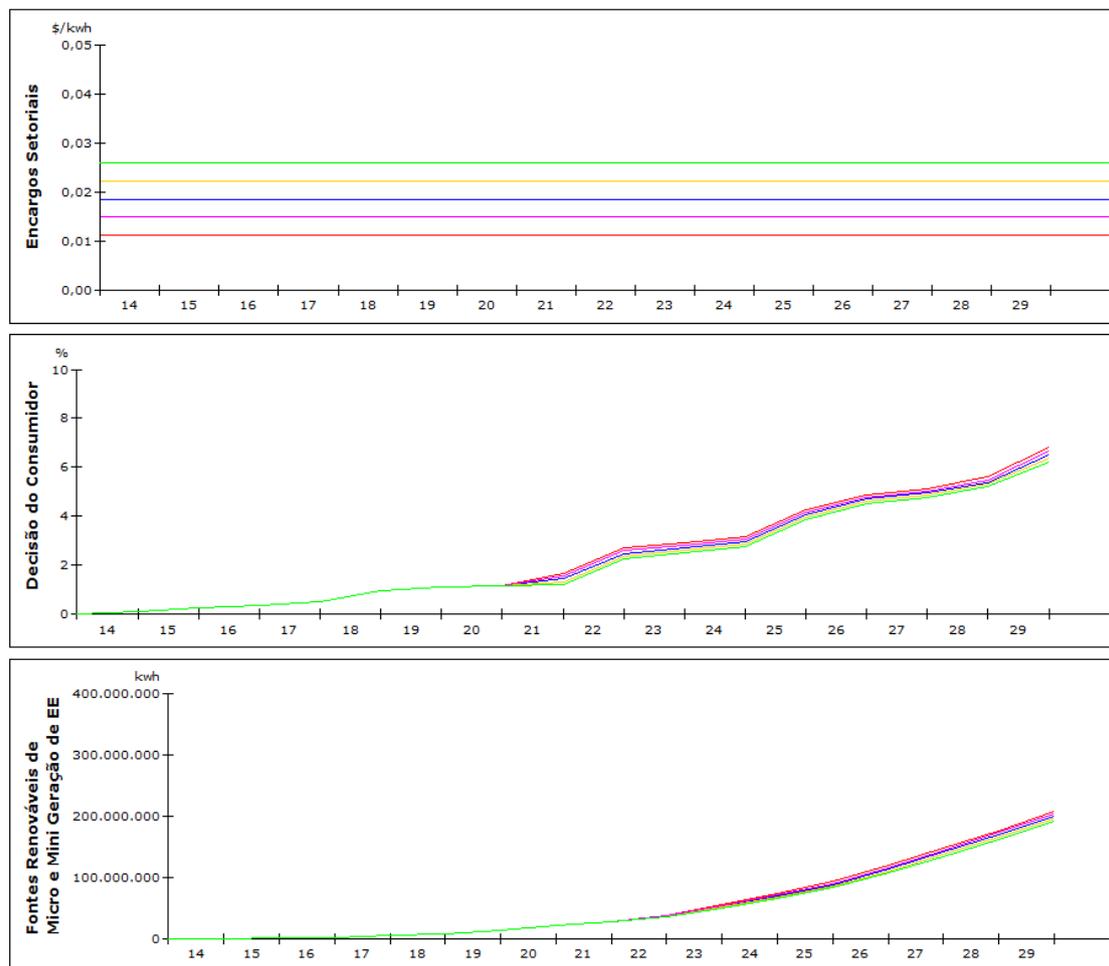
Fonte: O autor.

Quadro 13: Análise de sensibilidade – Encargos Setoriais.

Encargos Setoriais	Decisão do Consumidor	Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de EE
0,0111 R\$/kWh	6,82 %	207.987.095,44 kWh
0,0148 R\$/kWh	6,67 %	203.770.755,17 kWh
0,0185 R\$/kWh	6,52 %	199.894.045,02 kWh
0,0222 R\$/kWh	6,36 %	195.886.844,66 kWh
0,0259 R\$/kWh	6,20 %	191.862.967,68 kWh

Fonte: O autor.

Figura 13: Análise de sensibilidade – Encargos Setoriais.



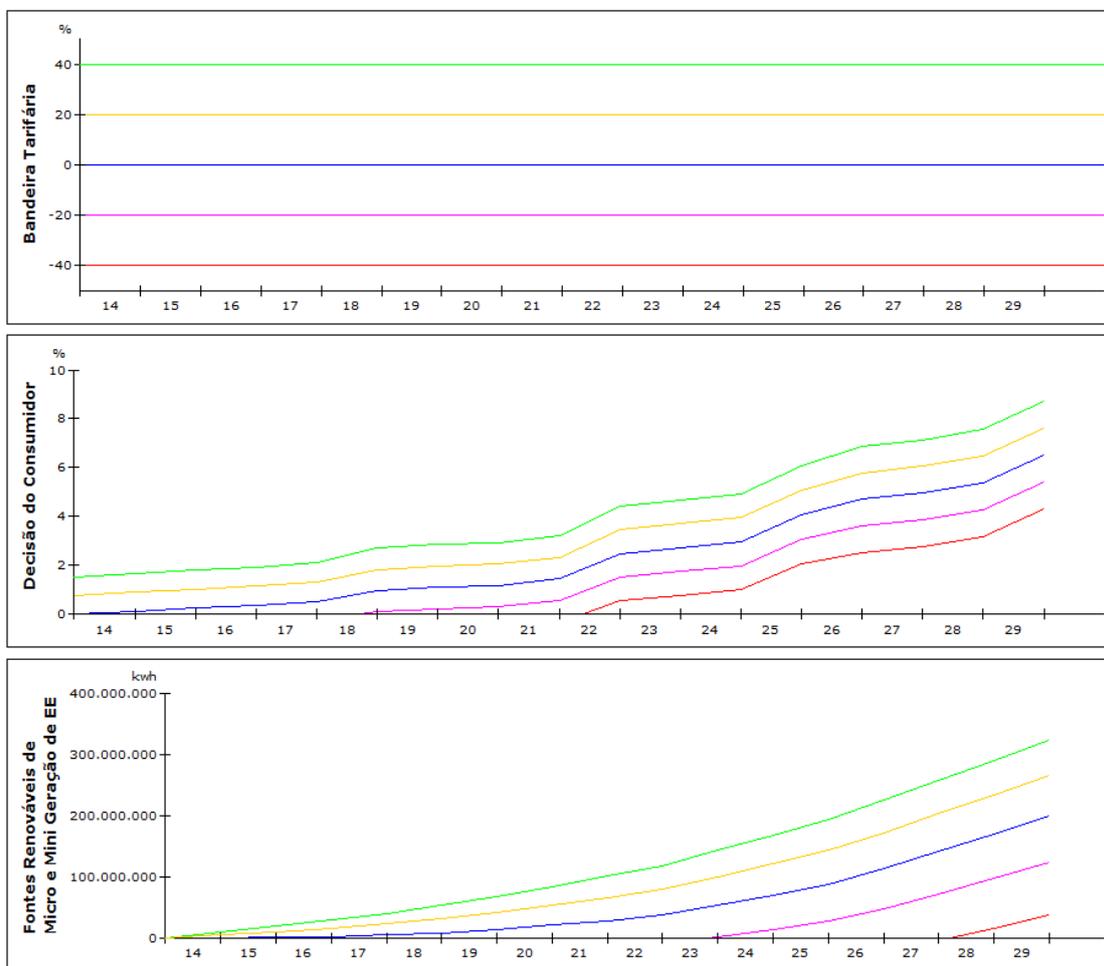
Fonte: O autor.

Quadro 14: Análise de sensibilidade – Bandeira Tarifária.

Bandeira Tarifária	Decisão do Consumidor	Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de EE
-40,00%	4,31 %	37.815.563,80 kWh
-20,00%	5,42 %	124.224.280,98 kWh
0,00%	6,52 %	199.894.045,02 kWh
20,00%	7,62 %	266.115.053,33 kWh
40,00%	8,73 %	324.009.750,64 kWh

Fonte: O autor.

Figura 14: Análise de sensibilidade – Bandeira Tarifária.



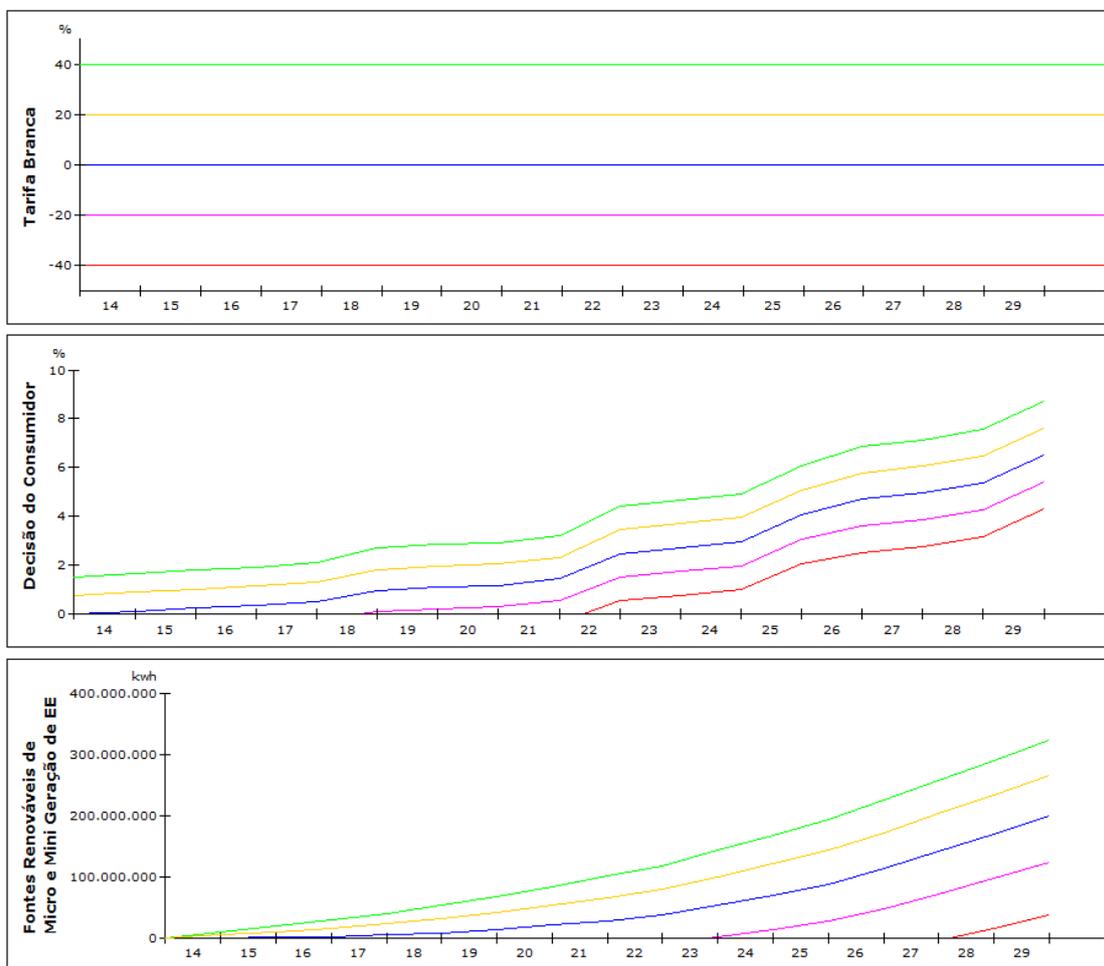
Fonte: O autor.

Quadro 15: Análise de sensibilidade – Tarifa Branca.

Tarifa Branca	Decisão do Consumidor	Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de EE
-40,00%	4,31 %	37.815.563,80 kWh
-20,00%	5,42 %	124.224.280,98 kWh
0,00%	6,52 %	199.894.045,02 kWh
20,00%	7,62 %	266.115.053,33 kWh
40,00%	8,73 %	324.009.750,64 kWh

Fonte: O autor.

Figura 15: Análise de sensibilidade – Tarifa Branca.



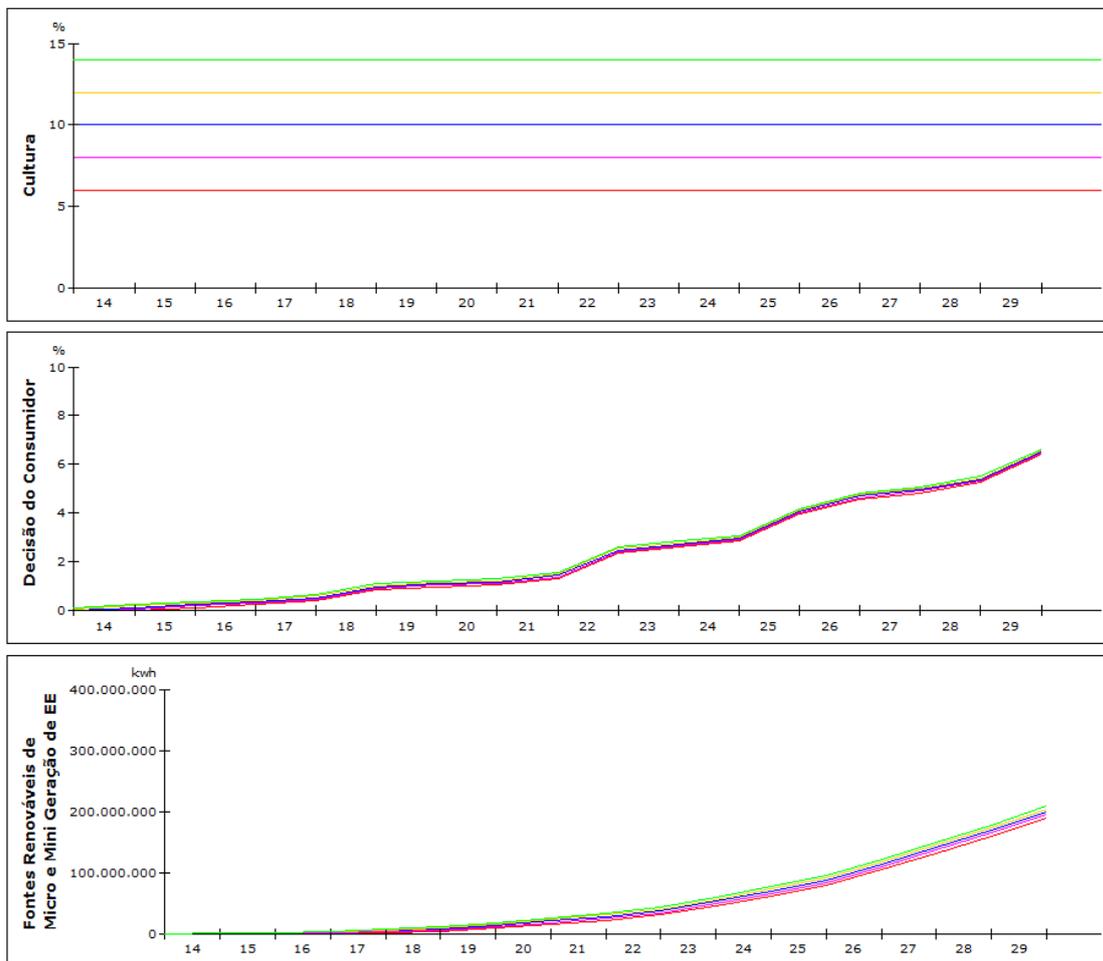
Fonte: O autor.

Quadro 16: Análise de sensibilidade – Cultura.

Cultura	Decisão do Consumidor	Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de EE
6,00 %	6,40 %	190.616.786,68 kWh
8,00 %	6,46 %	195.277.811,30 kWh
10,00 %	6,52 %	199.894.045,02 kWh
12,00 %	6,58 %	204.477.972,81 kWh
14,00 %	6,64 %	209.017.788,00 kWh

Fonte: O autor.

Figura 16: Análise de sensibilidade – Cultura.



Fonte: O autor.