

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA**

**ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

**KÁTIA CRISTINA DE OLIVEIRA DIAS**

**ESTUDOS DA INSERÇÃO DA MINI E MICROGERAÇÃO NA  
PROJEÇÃO DE MERCADO DO SISTEMA ELÉTRICO DE  
DISTRIBUIÇÃO**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA - PR**

**2017**

**KÁTIA CRISTINA DE OLIVEIRA DIAS**

**ESTUDOS DA INSERÇÃO DA MINI E MICROGERAÇÃO NA  
PROJEÇÃO DE MERCADO DO SISTEMA ELÉTRICO DE  
DISTRIBUIÇÃO**

Monografia de Especialização apresentada ao Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues

**CURITIBA - PR**

2017

## TERMO DE APROVAÇÃO

KÁTIA CRISTINA DE OLIVEIRA DIAS

### **ESTUDOS DA INSERÇÃO DA MINI E MICROGERAÇÃO NA PROJEÇÃO DE MERCADO DO SISTEMA ELÉTRICO DE DISTRIBUIÇÃO**

Esta Monografia de Especialização foi apresentada no dia 29 de agosto de 2017, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energia Renováveis – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A aluna foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

Coordenador de Curso de Especialização em Energias Renováveis

---

Prof. Romildo Alves dos Prazeres

Chefe do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

#### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Marcelo Rodrigues  
Orientador - UTFPR

---

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior  
UTFPR

---

Prof. Esp. Carlos Henrique Karam Salata  
UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso
---

Dedico este trabalho a minha maior e  
melhor inspiração: meus filhos e, aos meus  
eternos incentivadores: meus pais.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por este momento, pois sem Ele, com certeza, nada disso estaria acontecendo.

Agradeço ao amor dos meus familiares que, através de sua paciência e amor, aturaram meus piores momentos.

Agradeço ao Prof. Dr. Marcelo Rodrigues, que como orientador, contribuiu para o êxito deste trabalho.

Agradeço também, à empresa COPEL pelo apoio pessoal, financeiro e estrutural, para a realização desta especialização.

E por fim, agradeço a todos os amigos que me acompanharam nesta jornada, uns caminhando lado a lado, ora apoiando, ora sendo apoiado, e outros, que mesmo não participando da mesma jornada, forneceram os ombros para que permanecesse firme nesta trajetória.

"O planejamento do setor energético é fundamental para assegurar a continuidade do abastecimento e/ou suprimento da energia ao menor custo, com o menor risco e com os menores impactos socioeconômicos e ambientais para a sociedade brasileira."

(Mercado de Energia Elétrica 2006-2015, EPE & MME)

## SUMÁRIO

Oliveira Dias, Kátia C.: **ESTUDOS DA INSERÇÃO DA MINI E MICROGERAÇÃO NA PROJEÇÃO DE MERCADO DO SISTEMA ELÉTRICO DE DISTRIBUIÇÃO**. 2017. 64p. Trabalho de Conclusão de Especialização em Energias Renováveis - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Com a privatização das empresas do setor na década de 1990 pelo Governo Federal, verificou-se o aumento da competição no mercado de energia elétrica, tornando-se assim necessária a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para se garantir a manutenção da geração com eficiência e confiabilidade. A legislação atual aliada aos incentivos governamentais à expansão das fontes alternativas (GD), tornou economicamente interessante a operação de geradores em paralelo com os sistemas elétricos de distribuição, incrementando assim, o interesse das empresas privadas em investimentos na produção de energia elétrica e com a inserção deste tipo de geração no sistema elétrico da distribuidora provocou alterações tanto técnicas quanto operacionais no sistema, além de influenciar no comportamento da demanda em todas as classes de consumo, sendo que a projeção desta é a base para o planejamento de expansão, de operação e financeiro de uma distribuidora de energia elétrica. Com a inserção das mini e microgerações no sistema elétrico de distribuição tornou-se imprescindível desenvolver-se uma metodologia que contemple a projeção de mercado no tocante à inserção deste tipo de fonte renovável enquadrado no Sistema de Compensação de Energia que auxilie a tomada de decisão quando da compra de energia pela concessionária. Utilizando-se o método estatístico da Regressão Polinomial Múltipla, determinaram-se as curvas analíticas de tendência para as classes de consumo: residencial, comercial e industrial e assim projetou-se o comportamento da quantidade de consumidores geradores inseridos no sistema elétrico com a respectiva energia gerada até o ano de 2020 e pode-se verificar também que este será o período, caso não haja algum evento externo significativo, para estabilização deste mercado.

**Palavras-chave:** Sistema de Compensação de Energia 1. Projeção de Mercado 2. Geração Distribuída 3. Minigeração 4. Microgeração 5. Regressão Polinomial 6.

## ABSTRACT

Oliveira Dias, Kátia C **MINI AND MICROGENERATION INSERTION STUDIES IN THE MARKET ELECTRICITY DISTRIBUTION SYSTEM MARKET PROJECTION.** 2017. 64p. Trabalho de Conclusão de Especialização em Energias Renováveis - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017. 57p. Trabalho de Conclusão de Especialização em Energias Renováveis - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

With the privatization of the companies in the sector in the 1990s by the government, there was an increase in competition in the electric power market, making it necessary to create the National Electric Energy Agency (ANEEL) to guarantee the maintenance of the efficiency and reliability generation. The current legislation coupled with government incentives to the expansion of alternative sources (GD) has made it economically interesting to operate generators in parallel with the electric distribution systems, thus increasing the interest of private companies in investments in the production of electric energy and with a insertion of this type of generation in the electrical system of the distributor caused both technical and operational changes in the system, besides influencing the behavior of the demand in all classes of consumption, and the projection of this is the basis for the planning of expansion, operation and of an electricity distributor. With the insertion of the mini and microgenerations in the electric distribution system, it has become essential to develop a methodology that contemplates the market projection regarding the insertion of this type of renewable source within the Energy Compensation System that assists decision making when of the power purchase by the Utilities. Using the statistical method of the Multiple Polynomial Regression, we determined the analytical curves of trend for the consumption classes: residential, commercial and industrial, and thus the behavior of the quantity of generating consumers inserted in the electric system with the respective energy was projected generated until the year 2020 and we can also verify that this will be the period, if there is no significant external event, to stabilize this market.

**Keywords:** Energy Compensation System 1. Market Projection 2. Distributed Generation 3. Minigeneration 4. Microgeneration 5. Polynomial Regression 6.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma das etapas do trabalho/capítulo .....	21
Figura 2 - Diagrama da metodologia aplicada à projeção de carga .....	30
Figura 3 - Diagrama da metodologia aplicada à previsão de consumo.....	31
Figura 4 - Compatibilização das previsões.....	31
Figura 5 - Metodologia de projeção do consumo de energia elétrica .....	37
Figura 6 – Metodologia de projeção do consumo industrial .....	42

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Equação analítica da curva de tendência .....	32
Equação 2 – Modelo de projeção da elasticidade-renda do consumo .....	33
Equação 3 - Projeção elasticidade-renda baseada na regressão log-linear com a taxa de crescimento do PIB.....	34
Equação 4 – Equação da curva de elasticidade-renda ajustada.....	37
Equação 5 - Relação entre o número de consumidores residenciais e população ...	39
Equação 6 - Relação entre o consumo e população.....	43
Equação 7 - Relação do consumo e o índice de perdas .....	44
Equação 8 – Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ).....	47
Equação 9 : Equação da curva analítica de tendência da quantidade de mini e microgeradores da CR .....	49
Equação 10 - Curva analítica de tendência do montante de energia gerada na CR pelos mini e microgeradores (kWh).....	50
Equação 11 - Equação da curva analítica de tendência da quantidade de mini e microgeradores da CC .....	52
Equação 12 - Curva analítica de tendência do montante de energia gerada na CC pelos mini e microgeradores (kWh).....	53
Equação 13 - Equação da curva analítica de tendência da quantidade de mini e microgeradores da CI.....	55
Equação 14 - Curva analítica de tendência do montante de energia gerada na CI pelos mini e microgeradores (kWh).....	55

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- PIB X elasticidade – renda do consumo de energia .....	33
Gráfico 2 – Elasticidade – PIB do consumo por consumidor residencial.....	38
Gráfico 3 – Evolução da relação NCR/POP por subsistema .....	40
Gráfico 4 – Quantidade de mini e microgeradores da CR conectados no período...49	
Gráfico 5 – Montante de energia gerada na CR pelos mini e microgeradores (kWh) .....	50
Gráfico 6 – Quantidade de mini e microgeradores da CC conectados no período...52	
Gráfico 7 – Montante de energia gerada na CC pelo mini e microgeradores (kWh)	52
Gráfico 8 – Quantidade de mini e microgeradores da CI conectados no período ....54	
Gráfico 9 – Montante de energia gerada na CI pelo mini e microgeradores (kWh)..55	

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Projeção da elasticidade-renda de consumo e o crescimento do PIB.....	33
Tabela 2 - Projeção da elasticidade-renda de carga e o crescimento do PIB .....	34
Tabela 3 - Brasil. Projeção do consumo de energia elétrica .....	35
Tabela 4 - Sistema Interligado Nacional. Consumo, carga e perdas.....	36
Tabela 5- Dados observados na classe residencial (CR) no período de fev/15 a mar/17 .....	49
Tabela 6 - Dados observados na classe comercial (CC) no período de fev/15 a mar/17 .....	51
Tabela 7- Dados observados na classe industrial (CI) no período de fev/15 a mar/17 .....	54
Tabela 8 - Variação percentual da quantidade de UC e da energia gerada pela CR no período .....	59
Tabela 9 - Variação percentual da quantidade de UC e da energia gerada pela CC no período .....	60
Tabela 10 - Variação percentual da quantidade de UC e da energia gerada pela CI no período .....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CC	Consumo Comercial
CCPE	Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos
CI	Consumo Industrial
CO	Consumo de Outras Classes de Consumo
CPC	Consumo Médio Mensal
CR	Consumo Residencial
CT	Consumo Total de Energia Elétrica
DOM	Domicílios
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GD	Geração Distribuída
HAB	Habitantes
HAB/DOM	Número de Habitantes por Domicílio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MME	Ministério das Minas e Energias
NCR	Número de Consumidores Residenciais
NCR/Dom	Número de Consumidores Residenciais por Domicílio
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PIB	Produto Interno Bruto
POP	População

PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
ReN	Resolução Normativa
SIN	Sistema Interligado Nacional
TA	Tempo de Atendimento
UC	Unidade Consumidora

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1	TEMA .....	16
1.1.1	Delimitação do Tema.....	17
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS .....	17
1.3	OBJETIVOS .....	19
1.3.1	Objetivo Geral.....	19
1.3.2	Objetivos Específicos .....	19
1.4	JUSTIFICATIVA .....	20
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	20
1.5.1	Estrutura do Trabalho e Detalhamento da Metodologia .....	21
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>23</b>
2.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	24
2.1.1	Geração Distribuída – Mini e Microgeração .....	24
2.1.1.1	Legislação Vigente .....	24
2.2	METODOLOGIA DA PROJEÇÃO DE MERCADO ATUAL .....	26
2.2.1	Projeção de Demanda.....	26
2.2.2	Método Tradicional de Cálculo .....	28
2.2.2.1	Projeção de consumo e produção de energia de carga .....	35
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA PROPOSTA</b> .....	<b>46</b>
3.1	CONCEITOS ESTATÍSTICOS APLICADOS.....	46
3.2	DESENVOLVIMENTO.....	48

3.2.1	Classe Residencial - CR.....	48
3.2.2	Classe Comercial – CC .....	51
3.2.3	Classe Industrial – CI .....	53
3.3	RESULTADOS .....	56
3.3.1	Projeção Classe Residencial – CR.....	56
3.3.2	Projeção Classe Comercial – CC .....	57
3.3.3	Projeção Classe Industrial – CI .....	58
3.4	AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS .....	59
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>62</b>
4.1	CONCLUSÕES .....	62
4.2	TRABALHOS FUTUROS .....	63
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo trata da contextualização do tema a ser desenvolvido no estudo, delimitações, detalhamento do problema, objetivos e premissas adotadas.

### 1.1 TEMA

A Geração Distribuída (GD) ganhou importância mundial no atendimento ao mercado de energia elétrica quando os países optaram pela competição no setor energético e incentivaram a evolução de tecnologias de geração com eficiência e confiabilidade em todos patamares de potência.

Com a privatização das empresas do setor na década de 1990 pelo governo brasileiro, visando garantir tais premissas, criou-se um órgão responsável para acompanhar, regular e fiscalizar as atividades das concessionárias elétricas: a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

A legislação atual aliada aos incentivos governamentais à expansão das fontes alternativas (GD), tornou economicamente interessante a operação de geradores em paralelo com os sistemas elétricos de distribuição, incrementando assim, o interesse das empresas privadas em investimentos na produção de energia elétrica.

No período de 2012 a 2017, a nível nacional, o crescimento do número de conexões de mini e microgerações de energia superou a 7.000, passando de 4 (em dezembro de 2012) para 7.658 (em 25 janeiro de 2017) registradas na ANEEL, o que representa um total de 75.071,09kW de potência instalada, energia esta suficiente para abastecer 60 mil residências. Deste total de conexões, 98,82% foram de energia fotovoltaica e 1,18% de eólica.

O incremento da inserção da GD no sistema elétrico da distribuidora provocou alterações tanto técnicas quanto operacionais no sistema, além de influenciar no comportamento da demanda, sendo que a projeção desta é a base para o

planejamento de expansão, de operação e financeiro de uma distribuidora de energia elétrica.

A ReN 482 de 2012, publicada pela ANEEL, permite ao consumidor brasileiro gerar energia a partir da mini e microgeração distribuída e aderir a um sistema de compensação de energia na forma de créditos de energia ativa. O consumidor passa então, a consumir e a produzir energia e, o crescente aumento destes novos tipos de consumidores geradores insere incertezas no processo de projeção do mercado de energia elétrica, tornando-se assim necessária o desenvolvimento de uma nova metodologia, a ser acrescentada a já existente a esta nova realidade.

### 1.1.1 Delimitação do Tema

O objeto deste estudo é a prospecção de mercado incluindo-se mini e microgeradores conectados ao sistema elétrico de uma determinada distribuidora de energia elétrica do sul do Brasil, enquadrados no regime do Sistema de Compensação de Energia (ReN 482/12) e por meio de sua projeção, avaliar seu impacto no mercado de energia elétrica.

A análise realizada correspondeu ao período de fevereiro de 2015 a março de 2016.

## 1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

A estrutura do sistema elétrico brasileiro baseia-se no conceito de geração centralizada, com a transmissão de energia, em diferentes tensões percorrendo longas distâncias da sua fonte até os centros de carga, não apresentando a figura intermediária de outras fontes de energia, fluindo em uma única direção. A GD, por sua vez, caracteriza-se, principalmente a de pequeno porte, a situar-se próxima aos centros de consumo de energia elétrica. Esta característica pode ser vantajosa para o sistema elétrico, se for considerado que provocará postergação dos investimentos

em expansão dos sistemas de distribuição e transmissão, baixo impacto ambiental, melhoria do nível de tensão na rede no patamar de carga pesada e a diversificação da matriz energética. Em contraponto, há desvantagens que devem ser consideradas como o aumento da complexidade da operação da rede, a dificuldade na cobrança pelo uso do sistema elétrico, a eventual incidência de tributos e a necessidade de alteração de procedimentos das distribuidoras para operar, controlar e proteger suas redes.

No ano de 2012, foi criado o Sistema de Compensação de Energia por meio da ReN 482, na qual o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e, inclusive, fornecer o excedente para o sistema elétrico de sua região. Em 2016, com o objetivo de reduzir os custos e o tempo para conexão dos mini e microgeradores, compatibilizar o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (ReN 482 de 2012) com as Condições Gerais de Fornecimento (ReN 414 de 2010), incrementar o público alvo e melhorar as informações na fatura, publicou a ReN 687/2015, que revisou a ReN 482/2012 e a seção 3.7 do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST.

Com a inserção das mini e microgerações no sistema elétrico de distribuição tornou-se imprescindível desenvolver-se uma metodologia que contemple a projeção de mercado no tocante à inserção deste tipo de fonte renovável enquadrado no Sistema de Compensação de Energia que auxilie a tomada de decisão quando da compra de energia pela concessionária.

Estudos afins já foram realizados, porém direcionados apenas à projeção da classe residencial e de uma fonte específica de GD (Lautenschleger, Ary 2013).

Tendo em vista a adesão destes consumidores geradores à GD, que gera impactos no sistema elétrico de distribuição e que, por ser recente ainda não se tem controle total sobre isso, este estudo mostra-se relevante frente ao quadro da economia nacional.

Em resumo, este estudo pretende responder a seguinte pergunta:

qual a metodologia a ser utilizada para se projetar o comportamento futuro de mercado, com a inserção do mini e microgerador no sistema elétrico de distribuição por meio do sistema de compensação de energia elétrica, considerando-se que não há histórico anterior como a que se baseia o método tradicional vigente de cálculo?

### 1.3 OBJETIVOS

Os objetivos são divididos em geral e específicos, sendo que no geral é definido qual o objetivo final proposto por este trabalho e, nos específicos, são detalhados os passos a serem seguidos para se obter o resultado desejado neste trabalho.

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Apresentar uma projeção de mercado de energia elétrica considerando-se a inserção de mini e microgeração a partir de fontes renováveis para uma distribuidora típica do sul do Brasil.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

Estudar os documentos legais atuais brasileiros visando identificar aspectos que interferem na projeção de mercado de uma distribuidora de energia elétrica;

Estudar as características da geração das fontes renováveis, mini e microgeradoras e;

Estudar a metodologia tradicional de projeção de mercado buscando identificar a adequação e complementação com a inserção destas fontes de energia.

Desenvolver uma metodologia/ferramenta que prospecte, considerando-se a inserção das GD por meio do sistema de compensação no sistema elétrico, seu impacto no mercado de energia elétrica.

Selecionar as curvas analíticas de tendência oriundas da metodologia encontrada e realizar simulações com dados reais de mercado realizadas em um determinado período de tempo.

Avaliar os resultados obtidos.

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

A dinâmica do mercado de energia elétrica é função não só do crescimento da economia como também da evolução da estrutura da renda nacional e de outros fatores como: população, domicílios, grandes projetos industriais, condições climáticas, avanços tecnológicos, políticas de conservação de energia, dentre outros.

Com a inserção da mini e microgeração no sistema de distribuição de energia elétrica, o modelo do mercado passa a apresentar um comportamento diferente do tradicional, o que torna necessária a inclusão de uma perspectiva de adesão dos consumidores geradores para que a projeção da demanda seja condizente à realidade atual de mercado, e a importância aumenta quando se verifica que a projeção do mercado é o que baliza o comportamento financeiro das concessionárias e o seu planejamento e expansão.

#### 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A projeção de demanda pela metodologia tradicional é baseada em dados históricos da demanda de energia elétrica e na análise de tendência das variáveis explicativas da evolução da demanda, caracterizando-se assim, um estudo longitudinal. No que se refere à inclusão da mini e microgeração, por se tratar de um fator novo inserido no cenário elétrico brasileiro, a ausência de dados históricos inviabiliza este tipo de estudo longitudinal.

Inicialmente será levantada a quantidade de unidades consumidoras que aderiram ao sistema de compensação, em um determinado período de tempo,

divididas por classe de consumo: residencial, comercial e industrial, com seus montantes de energia gerada correlatos.

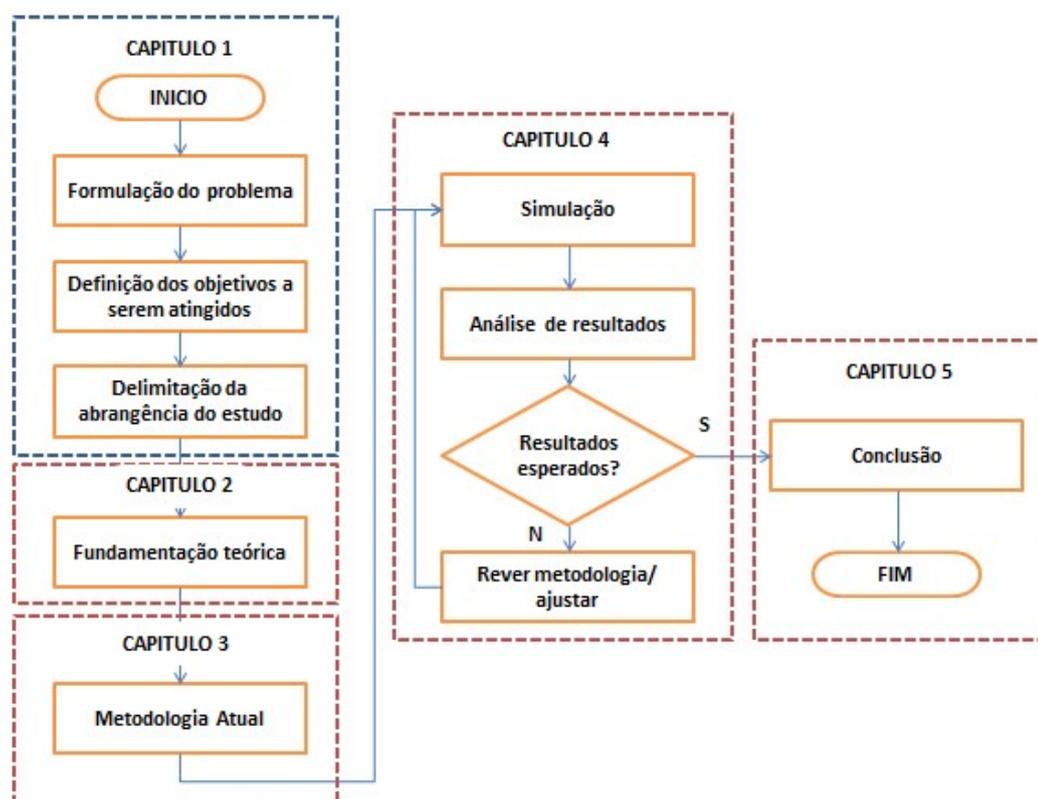
Após a determinação do melhor método de distribuição estatística a ser aplicado, definir a equação analítica da curva de tendência, que aplicada, definirá a projeção do mercado de energia para o horizonte de 3 anos.

Após a simulação, será realizada a análise dos resultados para verificação de coerência perante o mercado atual e assim, concluir o trabalho.

### 1.5.1 Estrutura do Trabalho e Detalhamento da Metodologia

O fluxograma da Figura 1 mostra o encadeamento de todas as etapas do trabalho.

**Figura 1 - Fluxograma das etapas do trabalho/capítulo**



Conforme ilustrado na Figura 1, o trabalho consiste de 5 etapas que coincidem com seus 5 Capítulos, conforme detalhamento a seguir:

- i. Capítulo 1 – Neste capítulo o trabalho será iniciado através da formulação do problema a ser desenvolvido no cenário em que está inserido. Informará qual a delimitação do horizonte em estudo, definindo-se seu campo de amostragem e os problemas e premissas que envolve o problema em si além dos objetivos (geral e específicos) almejados a serem alcançados pelo trabalho. Justificará o porquê da realização deste estudo e os procedimentos metodológicos envolvidos, que serão aplicados, e toda a estrutura do trabalho a ser apresentado.
- ii. Capítulo 2 – Este capítulo apresentará a fundamentação teórica do problema a ser desenvolvido através da contextualização da micro e minigeração e da legislação vigente.
- iii. Capítulo 3 – Este capítulo apresentará o detalhamento da metodologia aplicada na projeção de mercado pela EPE/MME do período de 2005 a 2016.
- iv. Capítulo 4 – Este capítulo apresentará o método estatístico e o estudo detalhado (simulações, análise de resultados, ajustes) que será aplicado e que resultará na projeção do mercado de energia para os micro e minigeradores.
- v. Capítulo 5 – Este capítulo apresentará as conclusões e considerações finais do trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com a mudança no cenário do mercado de energia elétrica decorrente da inserção das energias alternativas renováveis, o planejamento, a projeção de demanda atual tornou-se insuficiente para prever de forma total e eficaz a projeção desta forma de energia na qual o consumidor não precisa avisar quando irá despachar, desligar ou ligar com antecedência ou programação.

Apesar de se tratar de um assunto recente, alguns trabalhos já foram realizados diversificando nos enfoques escolhidos para tal: Lautenschleger (2013) fez uma proposta para mudança na metodologia tradicional de projeção de demanda de energia elétrica, considerando a inserção da mini e microgeração fotovoltaica e Faria (2014), complementou o trabalho de Lautenschleger, estudando a inserção da mini e microgeração fotovoltaica na projeção de demanda da classe residencial.

Segundo publicação do Ministério das Minas e Energia em conjunto com a EPE:

O planejamento do setor energético é fundamental para assegurar a continuidade do abastecimento e/ou suprimento da energia ao menor custo, com o menor risco e com os menores impactos socioeconômicos e ambientais para a sociedade brasileira (Mercado de Energia Elétrica 2006-2015).

As projeções de mercado ou projeções de demanda da empresa são fatores que balizam as tomadas das decisões institucionais de uma distribuidora no cumprimento de suas metas. Por meio dela pode-se definir a tarifa e prever a receita da distribuidora a médio e longo prazo, além de identificar a expansão do seu sistema elétrico de energia.

Este capítulo trata dos conceitos gerais no âmbito do mercado de energia elétrica e da micro e minigeração distribuída. Estes conceitos são relacionados ao novo comportamento do consumidor e ao novo momento do cenário da energia, e são importantes para o desenvolvimento do trabalho uma vez que a produção de energia a partir dos consumidores implica na redução da energia fornecida através da distribuidora, que acaba tendo seu mercado retraído.

## 2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

### 2.1.1 Geração Distribuída – Mini e Microgeração

Geração Distribuída (GD) é definida por Maia, *et. al.* (2013) como “a geração de energia elétrica próxima ao consumidor ou na própria instalação consumidora independente da fonte de energia e da tecnologia usada”; e de acordo com o o artigo 14 do Decreto nº 5.163 de 30 de julho de 2004: “aquela conectada diretamente ao sistema elétrico de distribuição proveniente de fontes renováveis de energia ou de cogeração com eficiência energética igual ou maior a 75% e capacidade instalada inferior a 30MW.”

A mini e microgeração caracterizam-se por serem pequenas centrais geradoras que utilizam fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada, conectadas ao sistema elétrico da distribuidora por meio das instalações das unidades consumidoras.

Especificamente, a microgeração refere-se as centrais geradoras com potência instalada até 75kW e a minigeração àquelas superiores a 75kW e inferiores a 3MW para fonte hídrica e 5MW para as demais fontes, inclusive.

#### 2.1.1.1 Legislação Vigente

Lei nº 9.427 emitida em 27 de dezembro de 1996 – instituiu o novo modelo do setor elétrico brasileiro, criando a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica.

Lei nº 9.648, emitida em 27 de maio de 1998 - conversão da MPv nº 153 de 18 de maio de 1998 – autorizou o Poder Público a promover a reestruturação da Centrais Elétricas Brasileiras – ELETROBRÁS e de suas subsidiárias. Definindo ainda as regras de entrada de novos agentes, tarifas e estrutura de mercado. Esta reestruturação objetivou intensificar a competição dos segmentos de geração e

comercialização de energia elétrica e regulamentar as atividades do setor com a criação da ANEEL.

Resolução Normativa da ANEEL nº 482, emitida em 17 de abril de 2012, e revisada pela Resolução Normativa nº 687 de 25 de novembro de 2015, define o conceito de mini e microgeração distribuída, as condições gerais de acesso ao sistema elétrico de distribuição, estabelece um limite para a potência instalada de acordo com o grupo consumidor e ainda permite que a energia excedente gerada pela unidade consumidora com mini ou microgeração seja injetada na rede da distribuidora, a qual funcionará como uma bateria excedente. Conforme a citação da ANEEL, no “Cadernos Temáticos da ANEEL – Micro e Minigeração Distribuídas – Sistema de Compensação de Energia Elétrica”, 2ª edição, 2016: “Quando a energia injetada na rede for maior que a consumida, o consumidor receberá um crédito em energia (kWh) a ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário (consumidores com tarifa horária) ou na fatura dos meses subsequentes. Os créditos de energia gerados continuam válidos por 60 meses. O consumidor ainda poderá utilizar esses créditos em outras unidades previamente cadastradas dentro da mesma área de concessão e caracterizada como autoconsumo remoto, geração compartilhada ou integrante de empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras (condomínios) em local diferente do ponto de consumo, a saber:

- Geração compartilhada: reunião de consumidores da mesma área de concessão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuídas em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada.
- Autoconsumo remoto: unidades consumidoras de titularidade de mesma pessoa jurídica, incluídas matriz e filial, ou pessoa física que possua unidade consumidora com micro ou minigeração em local diferente das unidades consumidoras, na mesma área de concessão, nas quais a energia excedente será compensada.”

- Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras (condomínios): utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidoras e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, com micro ou minigeração desde que as unidades consumidoras estejam na mesma área de concessão.
- Neste mesmo contexto observa-se ainda que: unidades consumidoras conectadas no grupo B (baixa tensão), ainda que a energia despachada na rede seja maior que a consumida, será devido o pagamento referente ao custo de disponibilidade de energia – valor em reais equivalente a 30kWh (monofásico), 50kWh (bifásico) e 100kWh (trifásico) e unidades consumidoras conectadas no grupo A (alta tensão) será devida apenas a parcela correspondente à demanda contratada pela unidade consumidora.

## 2.2 METODOLOGIA DA PROJEÇÃO DE MERCADO ATUAL

Este capítulo apresenta a descrição da metodologia de projeção do mercado de energia elétrica, utilizado, pela EPE, para o decênio 2005-2015.

### 2.2.1 Projeção de Demanda

O método de projeção tem o objetivo explícito de acertar, com a maior probabilidade possível as variáveis nele envolvidas, sendo eficaz e importante quando da sistematização de cenários e de elencar as “possibilidades de futuro” e suas

consequentes implicações no que concerne à necessidade do desenvolvimento de competências específicas.

Tolmasquim e Amilcar Guerreiro<sup>1</sup> resumem a metodologia vigente, como sendo composta das seguintes etapas:

#### ETAPA 1 – Formulação do cenário macroeconômico

A constituição do cenário macroeconômico é o pano de fundo para a elaboração das projeções de mercado. Utilizando-se a técnica de cenários, poder-se-á subsidiar estratégias de ações alternativas, no sentido, de iterativamente, adequar a oferta à demanda de energia elétrica.

ETAPA 2 – Determinação do ambiente que definirá a evolução do mercado de energia elétrica

Em consonância com o cenário macroeconômico deverão ser determinadas premissas socioeconômicas e setoriais.

Dentre as premissas socioeconômicas pode-se destacar a elaboração de cenários de população e domicílios e estudos específicos de elasticidade-renda<sup>2</sup> do consumo de energia elétrica para determinadas classes de consumo ou grupos de consumidores.

As premissas setoriais envolvem características específicas do consumo de energia elétrica em cada classe de consumidores ou setor da economia, tal como: para o setor residencial o consumo médio por consumidor residencial é um parâmetro característico importante. Para o setor comercial, sua relação com o consumo residencial e com o consumo comercial “per capita” também se constitui em parâmetros característicos do mercado. Para os setores industriais eletrointensivos,

---

<sup>1</sup> Presidente e Diretor de Estudos Econômicos e Energéticos (ano 2005) da Empresa de Pesquisas Energéticas – EPE. Fonte: Mercado de Energia Elétrica 2006-2015, EPE, 2005.

<sup>2</sup> (Economia) Elasticidade-renda é a medida do impacto decorrente de uma variação na renda sobre a demanda (ou procura) de um bem.

as perspectivas de expansão da capacidade instalada, de produção física e de autoprodução, são elementos essenciais para a configuração do mercado.

As perspectivas de conservação de energia também são incluídas como premissas fundamentais, pelo seu potencial de deslocamento de mercado e consequente adiamento de investimentos no setor elétrico.

### ETAPA 3 – Definição dos cenários

A partir dos cenários macroeconômicos definidos qualitativamente por metodologia apropriada, definem-se 3 cenários para a evolução da economia brasileira denominados: trajetória de referência, trajetória de crescimento alto e trajetória de crescimento baixo.

Como a trajetória de referência tem aspecto intermediário, ela é adotada como base para os estudos do planejamento decenal do sistema elétrico. Nesta trajetória, a taxa média resultante de crescimento do consumo de energia elétrica, no horizonte decenal, situou-se em 5,2% ao ano<sup>3</sup>, considerando-se o consumo total do país.

#### 2.2.2 Método Tradicional de Cálculo

Nos estudos de projeção de mercado de energia elétrica é adotada uma variante de abordagem metodológica: a *top-down*, conforme apresentado no “Relatório Analítico – Projeções do Mercado de Energia Elétrica 2005-2015”, publicado pela EPE, em 2006, que detalha o método tradicional de cálculo da projeção de demanda de energia elétrica

A abordagem metodológica do tipo *top-down* caracteriza-se por se utilizar de configurações de mercado bastante agregadas e de um número reduzido de variáveis explicativas, aspectos estes que simplificam a análise do mercado.

Este tipo de abordagem foi utilizado para elaborar projeções agregadas do mercado de energia elétrica: do consumo para o Brasil e da carga de energia para o Sistema Interligado Nacional – SIN. Neste tipo de metodologia são introduzidas,

---

<sup>3</sup> Incluindo-se a autoprodução de energia

naturalmente, limitações no processo de cálculo, verificar variáveis chaves e definir linha de abordagem qualitativa.

Dentro desta abordagem, as projeções de mercado de energia elétrica foram realizadas considerando-se os seguintes elementos básicos:

- acompanhamento do comportamento do consumo de energia mensal junto a EPE;
- acompanhamento do comportamento da carga de energia periódicos junto ao Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS;
- cenários para evolução da economia brasileira ao longo do horizonte de estudo, extraídos do relatório da EPE: “Cenários Macroeconômicos para Projeção do Mercado de Energia Elétrica”;
- cenário demográfico, baseado no censo, em estudo de crescimento da população do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e em metodologia de adequação desenvolvida pela Eletrobrás e sua extrapolação para aplicação nos estudos de planejamento do setor elétrico, documentado no relatório da EPE: “Estudos das Premissas Básicas para as Projeções do Mercado de Energia Elétrica” e;
- projeções do consumo e da carga realizadas no últimos ciclo de estudos conduzidos pelo Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos – CCPE.

A projeção da carga pode ser representada esquematicamente como na Figura 2, que configura que o histórico e as previsões disponíveis fornecem variáveis de controle que representam a dinâmica de crescimento da carga total e a elasticidade – renda do mercado de energia elétrica. A variável chave é a dinâmica de crescimento da economia brasileira.

Na projeção do consumo total foi aplicado um método baseado analiticamente como o utilizado para a previsão de carga, tornando-se como principais variáveis chave o cenário demográfico e os cenários macroeconômicos que são regionalizados, tanto pelas regiões geográficas quanto pelos subsistemas elétricos.

**Figura 2 - Diagrama da metodologia aplicada à projeção de carga**



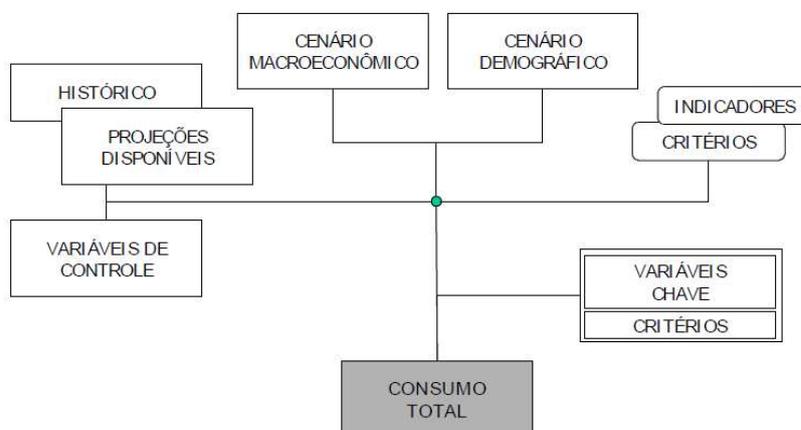
Fonte: Relatório Analítico – Projeções do Mercado de Energia Elétrica 2005-2015

Por meio de pesquisas e cenarização do comportamento da intensidade elétrica ou da elasticidade-renda, é possível se construir um modelo por meio do qual estes parâmetros são estimados e projetados, permitindo-se prever o consumo total. O método descrito é representado, de forma sucinta na Figura 3.

As projeções de carga e consumo assim obtidas são confrontadas de modo a avaliar as perdas totais nos sistemas.

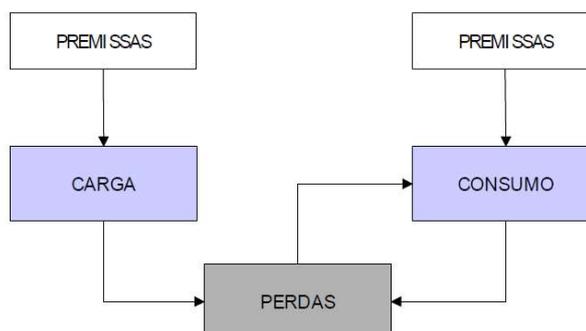
As perdas totais são obtidas pela diferença entre as projeções e significam as perdas elétricas ou técnicas que ocorrem nos sistemas de transmissão, subtransmissão e distribuição. Como parte importante dos dados históricos do consumo se refere ao valor faturado pelos fornecedores de energia, as perdas totais correspondem à parcela significativa das perdas comerciais, definidas genericamente como as diferenças entre o consumo medido e o faturado. Este processo de análise comparada das projeções é iterativo, convergindo na medida da obtenção da estimativa do consumo total considerada mais coerente com uma trajetória consistente das perdas conforme ilustra a Figura 4.

**Figura 3 - Diagrama da metodologia aplicada à previsão de consumo**



Fonte: Relatório Analítico – Projeções do Mercado de Energia Elétrica 2005-2015

**Figura 4 - Compatibilização das previsões**



Fonte: Relatório Analítico – Projeções do Mercado de Energia Elétrica 2005-2015

Para a elaboração da projeção do mercado de energia elétrica de acordo com esta metodologia torna-se essencial a análise da relação agregada da demanda agregada de energia elétrica (consumo total e carga) e da evolução da economia. A estreita relação do consumo de energia elétrica e o Produto Interno Bruto – PIB é direta, e tanto mais forte quanto maior o peso do segmento industrial, tanto na economia como no consumo de eletricidade. No PIB brasileiro a indústria representa um terço das riquezas produzidas e na energia, a indústria corresponde a cerca de 47% de toda a demanda de eletricidade.

Ao se analisar o comportamento do consumo de energia elétrica, considerando-se o comportamento do PIB, verifica-se que ainda existe uma

componente inercial que limita o crescimento da demanda por eletricidade no caso de taxas de expansão do PIB elevadas, e por outro lado, sustenta aquele crescimento mesmo nos períodos de recessão ou expansão econômica modesta, exceto nos de racionamento ou restrições de consumo de energia elétrica. Isso explica porque, em cenários de crescimento econômicos sustentado deve-se esperar taxas de expansão do consumo de energia menores, ainda que superiores às do PIB.

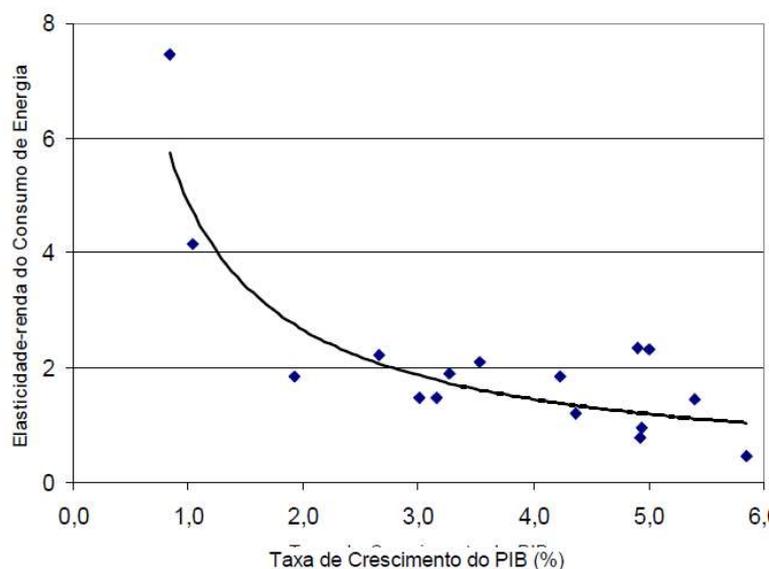
Na análise da evolução do PIB dos últimos 30 anos no Brasil, em que ao longo de vários períodos a economia evoluiu, em média, a taxas muito baixas, identificou-se que a média móvel decenal apresenta os resultados mais consistentes para efeito de análise comparada entre o PIB e o consumo de energia.

O Gráfico 1 relaciona a elasticidade-renda do consumo de energia elétrica, calculada a intervalos de 10 anos (média móvel) como razão entre as taxas médias geométricas de crescimento do consumo e do PIB, baseados nos registros históricos dos últimos 30 anos e, também inscreve a curva de tendência, obtida a partir de uma regressão do tipo potência. O coeficiente de correlação obtido ( $R^2$ ) foi de 0,612 e a equação analítica da curva de tendência é demonstrado na Equação 1.

#### **Equação 1 - Equação analítica da curva de tendência**

$$\varepsilon = 4,8689 * \Delta Y^{-0,8795}$$

onde:  $\varepsilon$  = elasticidade-renda e  $\Delta Y$  é a taxa de crescimento do PIB (em %).

**Gráfico 1- PIB X elasticidade – renda do consumo de energia**

Fonte: Relatório Analítico – Projeções do Mercado de Energia Elétrica 2005-2015

Os resultados apresentados autorizam avançar na construção de um modelo de projeção da elasticidade-renda com base na regressão log-linear desse parâmetro com a taxa de crescimento do PIB. Analiticamente, o modelo pode ser descrito como mostra Equação 2.

#### Equação 2 – Modelo de projeção da elasticidade-renda do consumo

$$\log \varepsilon = b_0 + b_1 * \log \Delta Y$$

E baseados nesse modelo, pode-se projetar os seguintes valores da elasticidade-renda do consumo de energia elétrica, para a faixa de valores de crescimento do PIB no horizonte do estudo realizado para o período de 2005-2016, indicada nos estudos dos cenários macroeconômicos (4 a 4,5% de crescimento médio anual), que são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 - Projeção da elasticidade-renda de consumo e o crescimento do PIB**

Crescimento do PIB (% ao ano)	4,0	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5
Elasticidade-renda do consumo	1,438	1,408	1,378	1,350	1,323	1,297

Fonte: Relatório Analítico – Projeções do Mercado de Energia Elétrica 2005-2015

Observa-se na Tabela 1 que a elasticidade-renda apresenta tendência decrescente ao longo do tempo. Este comportamento pode estar alinhado ao avanço tecnológico dos equipamentos industriais, como exemplo pode-se citar os motores que representam quase a metade do consumo industrial, que apresentam atualmente ganho de eficiência com consumo de energia menor, dentre outros. Então, a análise temporal do comportamento da elasticidade-renda tornou-se uma forma de incorporar todos estes aspectos.

Para a projeção de carga de energia do SIN foi aplicada a mesma abordagem: *top-down* que foi utilizada para o consumo, desta forma procurou-se aferir a relação do comportamento da carga com a economia, considerando-se os aspectos inerciais de evolução da carga e a tendência temporal da elasticidade-renda.

O histórico utilizado de registro de carga, para o cálculo, de acordo com dados fornecidos pelo ONS, foi do período de 20 anos (1984-2004). Para atenuar os efeitos conjunturais sobre o comportamento da carga calculou-se a elasticidade como média móvel de seis anos de período e os parâmetros do modelo de previsão foram ajustados a partir de regressão, conforme a expressão analítica apresentada na Equação 3.

**Equação 3 - Projeção elasticidade-renda baseada na regressão log-linear com a taxa de crescimento do PIB**

$$\varepsilon = b_0 + b_1 * (1/ \Delta Y)$$

onde:  $\varepsilon$  = elasticidade-renda e  $\Delta Y$  é a taxa de crescimento do PIB (em %).

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos com a aplicação do modelo apresentado na Equação 3.

**Tabela 2 - Projeção da elasticidade-renda de carga e o crescimento do PIB**

Crescimento do PIB (% ao ano)	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
Elasticidade-renda da carga	1,538	1,364	1,234	1,132	1,051	0,985

### 2.2.2.1 Projeção de consumo e produção de energia de carga

Para a projeção de consumo, procedeu-se a composição dos resultados das análises desenvolvidas acima: a componente inercial da demanda e a tendência temporal da elasticidade-renda. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos.

**Tabela 3 - Brasil. Projeção do consumo de energia elétrica**

Ano	Consumo de Energia Elétrica / <sup>1</sup>		PIB / <sup>2</sup>	
	GWh	Δ %	Δ %	
2004 <sup>3</sup>	331.478	4,7	4,9	
2005	346.068	4,4	3,0	
2006	364.546	5,3	4,0	
2007	383.076	5,1	4,0	
2008	401.341	4,8	4,0	
2009	422.194	5,2	4,0	
2010	441.718	4,6	4,0	
2011	461.646	4,5	4,0	
2012	485.414	5,1	4,5	
2013	510.616	5,2	4,5	
2014	534.181	4,6	4,5	
2015	558.197	4,5	4,5	
2016	583.871	4,6	4,5	

<i>Valores médios anuais</i>				
Período	TWh/ ano	Δ % ao ano	Δ % ao ano	Elasticidade renda
2004-2009	18.143	5,0	3,8	1,305
2005-2010	19.130	5,0	4,0	1,250
2006-2011	19.420	4,8	4,0	1,209
2011-2016	24.445	4,8	4,5	1,069

Fonte: Relatório Analítico – Projeções do Mercado de Energia Elétrica 2005-2015

#### **Observações:**

/1 Valores incluem autoprodução transportada, excluem autoprodução clássica.

/2 Conforme cenário macroeconômico de referência elaborado pela EPE.

/3 Valores realizados.

Para a projeção de carga, utilizando-se da mesma abordagem metodológica da projeção de consumo *top-down* a carga atinge 77.699MW médio no ano horizonte 2016. Como em 2010, ano em que ocorreram leilões de energia nova, dedicado à expansão da oferta no novo arranjo institucional do setor elétrico a carga chegou a 58.426MW médio, sendo assim, os valores apontam para um crescimento médio de 4,8% entre 2005 e 2016 conforme Tabela 4.

Observa-se que a projeção de carga de energia está associada à trajetória econômica de referência e no âmbito do SIN, que tem a operação coordenada pelo ONS.

**Tabela 4 - Sistema Interligado Nacional. Consumo, carga e perdas**

Ano	Carga de Energia <sup>/1</sup>		Consumo <sup>/2</sup>		Perdas
	MWmédio	Δ %	GWh	MWmédio	% da carga
2004 <sup>/3</sup>	44.316	4,6	324.781	36.974	16,6
2005	46.341	4,6	338.890	38.686	16,5
2006	48.599	4,9	356.715	40.721	16,2
2007	50.936	4,8	374.499	42.751	16,1
2008	53.352	4,7	392.040	44.753	16,1
2009	55.849	4,7	412.127	47.046	15,8
2010	58.426	4,6	430.844	49.183	15,8
2011	61.085	4,6	449.880	51.356	15,9
2012	64.167	5,0	472.691	53.960	15,9
2013	67.367	5,0	496.852	56.718	15,8
2014	70.688	4,9	519.339	59.285	16,1
2015	74.132	4,9	542.209	61.896	16,5
2016	77.699	4,8	566.649	64.686	16,7

Fonte: Relatório Analítico – Projeções do Mercado de Energia Elétrica 2005-2015

**Observações:**

/1 Valores incluem a pequena geração ou geração distribuída não despachada pelo ONS

/2 Valores excluem sistemas isolados

/3 Valores realizados

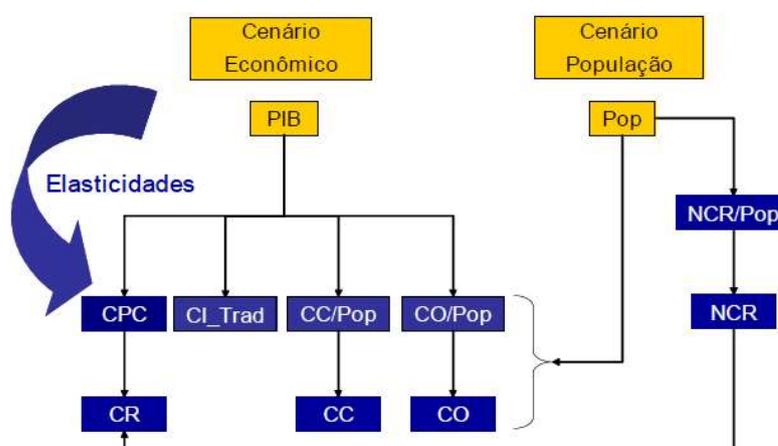
Na projeção realizada, trabalhou-se com uma abordagem agregada, simplificada, então para validação realizou-se uma nova abordagem, desta vez desagregada do mercado de energia elétrica, por classe de consumo e regionalidade, que por se tratar de uma variação da abordagem anterior, foi chamada de *top-down* desagregada.

Para aplicação desta abordagem, realizaram-se a montagem dos cenários macroeconômicos em relação as trajetórias consideradas. Em paralelo, a construção de um cenário único de evolução da população.

A influência do PIB e da população no consumo de energia elétrica e a inter-relação das variáveis das projeções de mercado estão esquematizadas na Figura 5.

A partir da evolução do Produto Interno Bruto (PIB) e da população (Pop), analisaram-se as elasticidades-renda de algumas variáveis essenciais na composição do consumo de energia elétrica, quais sejam: o consumo médio residencial (CPC), o consumo industrial tradicional (CI\_Trad), o consumo comercial per capita (CC/POP) e o consumo per capita do agregado das outras classes (CO/POP); além do número de consumidores residenciais (NCR), consumo residencial (CR), consumo comercial (CC) e consumo de outras classe (CO).

**Figura 5 - Metodologia de projeção do consumo de energia elétrica**



Fonte: Relatório Analítico – Projeções do Mercado de Energia Elétrica 2005-2015

O comportamento histórico dessas elasticidades, tanto em relação ao PIB quanto ao PIB per capita é extremamente irregular quando calculado pontualmente, ano a ano, porém, esse comportamento torna-se mais regular quando se consideram valores médios, em determinados períodos. Para suavizar as curvas da elasticidade, em relação ao PIB, do consumo médio residencial, do consumo industrial tradicional, do consumo comercial per capita e do consumo das outras classes per capita, visando captar uma tendência desses parâmetros, considerou-se médias móveis das taxas de crescimento de cada uma dessas variáveis e do PIB, para períodos de 6 anos, e as correspondentes elasticidades. Em seguida, ajustaram-se curvas do tipo apresentada pela Equação 4.

**Equação 4 – Equação da curva de elasticidade-renda ajustada**

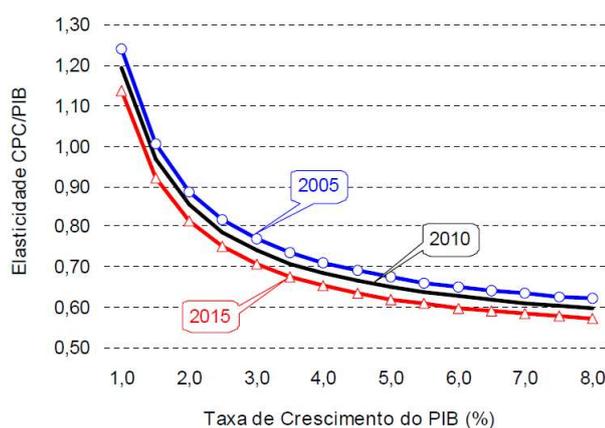
$$\text{Elasticidade} = a + b \times (1/\Delta\% \text{ PIB}) \quad [a > 0 \text{ e } b > 0]$$

Constatou-se um grau de aderência bastante razoável, sinalizando valores mais altos das elasticidades para baixos crescimentos do PIB e elasticidades menores para taxas de crescimento da economia mais elevadas.

É natural que em função da evolução da eficiência tecnológica dos equipamentos e do uso racional da energia pelos agentes de consumo, a elasticidade sofra redução ao longo do tempo para iguais crescimentos da economia. Como os coeficientes estimados das regressões (a e b) são variáveis aleatórias, com média e desvio padrão calculado, utilizaram-se os coeficientes (a e b) decrescentes ao longo do tempo, selecionados dentro de intervalos a 95% de confiança, do tipo (média aproximada de 2x desvio padrão), ou seja, considerou-se uma família, decrescente no tempo, de curvas de elasticidade em função da taxa de crescimento do PIB conforme mostra o Gráfico 2.

Utilizaram-se as elasticidades, calculadas por meio das curvas do tipo indicado, para projetar as variáveis: consumo médio por consumidor residencial, consumo industrial tradicional, consumo comercial per capita e consumo das outras classes per capita.

**Gráfico 2 – Elasticidade – PIB do consumo por consumidor residencial**



Fonte: Relatório Analítico – Projeções do Mercado de Energia Elétrica 2005-2015

## CONSUMO RESIDENCIAL (CR)

A metodologia utilizada para se projetar o mercado residencial de energia elétrica consiste na projeção, em separado, do número de consumidores residenciais

e o consumo por consumidor residencial que compreendem dois parâmetros básicos: NCR/POP e CPC, conforme a Equação 5, onde:

- NCR/POP = relação entre o número de consumidores residenciais e a população de determinada região geográfica e;
- CPC = consumo médio por consumidor residencial

**Equação 5 - Relação entre o número de consumidores residenciais e população**

$$\text{NCR/POP} = (\text{NCR/Dom}) * (\text{Dom/Hab}) = \text{TA} * (\text{Hab/Dom})^{-1}, \text{ onde :}$$

NCR/Dom = número de consumidores residenciais por domicílio

TA = Tempo de Atendimento

Hab/Dom = número de habitantes por domicílio

Com a análise da evolução do parâmetro NCR/POP, cujo comportamento apresenta características que favorecem a aplicação de modelo de previsão baseado em séries temporais, busca-se prever o número de consumidores residenciais, que assim, fica dependente do cenário de população considerado. Em caso de se dispor apenas de um cenário para o crescimento da população, a diferença entre as projeções do consumo residencial, correspondentes a diferentes trajetórias econômicas será função da variação do consumo médio por consumidor residencial (CPC) entre essas trajetórias, fruto de sua correlação com a renda e/ou com a renda per capita.

O NCR é projetado em função da evolução futura da população, de acordo com o relatório da EPE: “Estudo das Premissas Básicas para as Projeções do Mercado de Energia Elétrica” e da relação entre esses consumidores e a população (NCR/POP).

A taxa de atendimento define a extensão e a penetração do serviço de energia elétrica (TA=NCR/Dom).

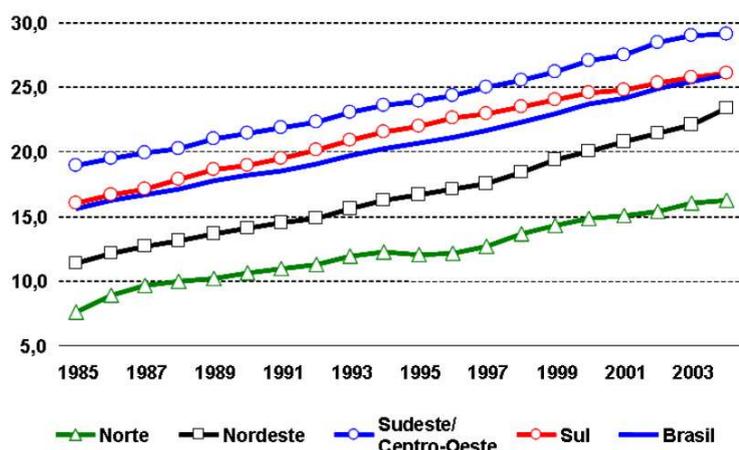
Para se estabelecer as premissas relativas ao consumo médio por consumidor residencial, pesquisou-se a correlação desta variável com a renda, a renda per capita e a evolução temporal.

Historicamente observa-se, em todos os subsistemas elétricos do país, uma forte tendência de evolução linear no tempo da relação NCR/POP, conforme pode ser visto no Gráfico 3.

Assim, projetou-se essa relação, extrapolando-se a tendência histórica linear. A projeção do número de consumidores residenciais resultou do produto das projeções dessa relação e da população. O consumo por consumidor residencial foi projetado, de forma consistente com a trajetória econômica considerada, através da sua elasticidade em relação ao PIB, utilizando as curvas de elasticidades estimadas mostradas no Gráfico 2.

A partir das projeções do consumo médio por consumidor residencial e do número de consumidores residenciais, pelo produto dessas variáveis obtém-se a projeção do consumo residencial de energia elétrica.

**Gráfico 3 – Evolução da relação NCR/POP por subsistema**



Fonte: Relatório Analítico – Projeções do Mercado de Energia Elétrica 2005-2015

## CONSUMO INDUSTRIAL (CI)

A previsão do consumidor industrial de energia elétrica baseia-se no cenário macroeconômico, sintetizado na taxa de crescimento do PIB, na elasticidade-renda do consumo industrial e em cenários de cogeração e autoprodução e hipótese para a conservação de energia elétrica.

A intensidade elétrica da indústria (kWh consumido na indústria, por unidade monetária do PIB industrial) é um importante parâmetro relativo à configuração do

parque industrial de cada região, do ponto de vista do consumo. Este indicador apresenta evolução rápida crescente na fase de industrialização das economias e posteriormente, passa a apresentar amortecimento no ritmo de crescimento em função da incorporação do aumento de produtividade da indústria com relação ao insumo energia elétrica.

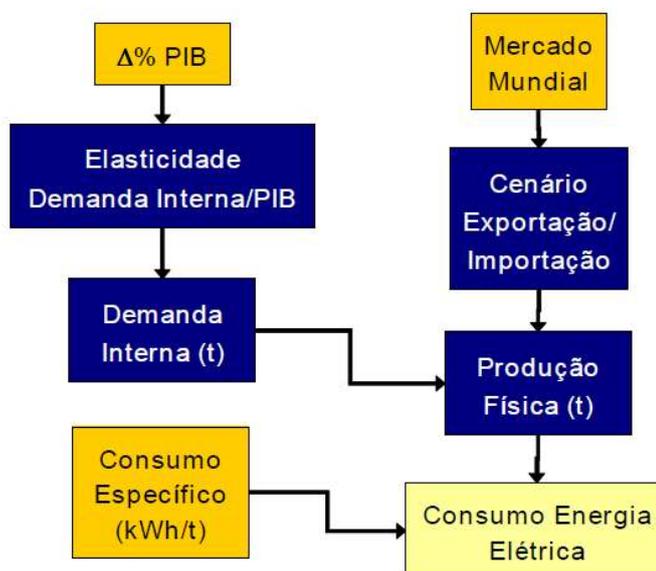
Atualmente, o cenário de conservação de energia está sendo impulsionada em relação à sua tendência histórica, mas também a autoprodução ganha outro papel de destaque no âmbito industrial, seja por meio de projetos clássicos de produção de energia elétrica, seja por meio de projetos de cogeração, com o aumento da eficiência energética no processo produtivo industrial. Ainda, pode-se acrescer a tendência do aumento tarifário e políticas de incentivo ao uso de energias alternativas, portanto o cenário se estabelece como altamente favorável para a autoprodução e a cogeração.

A projeção do consumo industrial de energia elétrica foi elaborada desagregando-se o consumo da classe em 2 conjuntos: os grandes consumidores industriais e as indústrias tradicionais, sendo que a cada um foi dado tratamento diferenciado.

A projeção do consumo dos grandes consumidores industriais foi feita a partir das perspectivas de evolução da produção física e dos consumos específicos de energia elétrica (kWh/tonelada) de cada um desses setores e a da indústria tradicional, a partir da premissa de que a parcela do consumo varia, ao longo do tempo, de acordo com o comportamento agregado da economia nacional, traduzindo-se essa relação através da elasticidade do consumo relativamente ao PIB (parâmetro PIB do consumo industrial tradicional).

A metodologia da projeção do consumo de energia elétrica dos grandes consumidores industriais encontra-se resumidamente esquemática na Figura 6.

**Figura 6 – Metodologia de projeção do consumo industrial**



Fonte: Relatório Analítico – Projeções do Mercado de Energia Elétrica 2005-2015

As premissas de autoprodução para os grandes consumidores industriais são elaboradas com base no potencial de cogeração e na pesquisa dos projetos de autoprodução dessas indústrias. Portanto, a autoprodução considerada, para efeito de abatimento do consumo industrial total de energia elétrica inclui apenas a chamada autoprodução clássica, que se entende ser toda aquela que corresponde ao consumidor com instalações próprias de geração de energia elétrica, localizadas junto às unidades de consumo, que não utilizam para o auto-suprimento a rede de energia elétrica da concessionária (ex. cogeração).

Para a projeção do consumo de energia elétrica dos grandes consumidores industriais a ser atendida pelo sistema elétrico é fundamental estabelecer premissas relativas à autoprodução clássica nesses setores em função da previsão da sua produção física. A parcela a ser atendida pelo sistema elétrico deverá ser calculada pela diferença entre o consumo total de energia elétrica desses consumidores e a respectiva parcela de autoprodução clássica.

O consumo industrial tradicional foi projetado através da sua elasticidade-renda em relação ao PIB. O tratamento dado ao consumo industrial tradicional é semelhante ao adotado para o consumo médio residencial.

A partir da projeção do consumo dos grandes consumidores industriais e do consumo industrial tradicional, por adição das duas parcelas, obtém-se o consumo industrial total. Este consumo, já subtraída a autoprodução clássica, é a parcela do consumo industrial a ser atendida pelo sistema elétrico.

### CONSUMO COMERCIAL (CC)

A projeção do consumo comercial é obtido a partir da Equação 6.

#### Equação 6 - Relação entre o consumo e população

$CC=(CC/POP) \times POP$  , onde:

CC = consumo comercial

POP = população

CC/POP = consumo comercial per capita

O consumo comercial per capita é projetado por meio de sua elasticidade-renda em relação ao PIB, utilizando-se curvas da elasticidade do consumo comercial per capita em relação ao PIB.

A partir da projeção do consumo comercial per capita e da projeção da população pelo produto dessas variáveis, obtém-se a projeção do consumo comercial de energia elétrica.

Para aferição da coerência desta, analisam-se a evolução das relações CC/CR e CC/CT, onde CC é o consumo comercial, CR o consumo residencial e CT o consumo total de energia elétrica, para posteriormente confrontá-la com seu comportamento histórico.

### CONSUMO DE OUTRAS CLASSE (CO)

O conjunto das outras classes é composta pela classe rural, de serviço público, dos poderes públicos, iluminação pública e do consumo próprio das concessionárias. Para se realizar a projeção de consumo de energia elétrica deste segmento utiliza-se da mesma abordagem utilizada para a classe comercial, a partir da mesma equação mostrada na Equação 6, adaptada.

A partir da projeção do consumo per capita das outras classes e da projeção da população, pelo produto dessas variável, obtém-se a projeção do consumo de energia elétrica do agregado das outras classes de consumo.

Para aferição da coerência desta, analisam-se a evolução das relações CO/CR e CO/CT, onde CO é o consumo das outras classes de consumo, CR o consumo residencial e CT o consumo total de energia elétrica, para posteriormente confrontá-la com seu comportamento histórico.

### CARGA DE ENERGIA E DEMANDA

A carga de energia é definida como o requisito total de energia a ser atendido pelo sistema elétrico, ou seja corresponde a energia total que tem que ser produzida nas usinas geradoras a fim de atender a demanda dos consumidores finais após todas as perdas ocorridas ao longo da rede de transmissão/distribuição. De outro lado, o consumo de energia é aferida junto aos consumidores.

As perdas, técnicas e/ou elétricas do sistema, são por definição, a diferença entre a carga e o consumo de energia. Na baixa tensão englobam também as perdas comerciais (furtos e diferenças no faturamento).

Normalmente, as perdas são expressas como percentual da carga, compondo o que se convencionou chamar de índice de perdas. Sendo assim, para que calculemos a carga de energia anual, a partir do consumo, utiliza-se a relação mostrada na Equação 7.

#### **Equação 7 - Relação do consumo e o índice de perdas**

$\text{Carga de Energia} = \text{Consumo} / (1 - \text{Índice de Perdas})$
--

A carga de energia é o requisito de geração média para atender ao consumo final, ao longo de determinado período de tempo (dia, mês, ano, etc.) e a carga de demanda ao de “geração instantânea” para atendimento do consumo final em um dado instante.

Sendo assim, como as projeções do consumo de energia elétrica brasileira, agregadas à trajetória econômica de referência, obtidas a partir das 2 variantes da

abordagem *top-down*: *top-down* e *top down* desagregada mostraram-se aderentes ao período decenal de 2005 a 2016, conforme pode ser observado na Tabela 3.

Como resultado, para os estudos do plano decenal, adotou-se a metodologia *top-down* desagregada para projeção de mercado por apresentar, além de resultados desagregados por classe de consumo e subsistema elétrico, permitir a inclusão de novas cargas industriais de porte e/ou expansões significativas de cargas existentes.

### 3 METODOLOGIA PROPOSTA

Neste capítulo será mostrado o método estatístico escolhido, que definiu a curva analítica de tendência que melhor representou o modelo desejado para projeção do mercado de mini e microgeração num horizonte de tempo.

Para o desenvolvimento da metodologia para projeção do mercado de energia elétrica considerando-se a inserção das energias alternativas renováveis sob o regime de compensação de energia foram analisados vários métodos de distribuição estatísticos, e a que melhor se adequou ao comportamento da evolução deste tipo de geração de energia foi a de regressão polinomial múltipla.

#### 3.1 CONCEITOS ESTATÍSTICOS APLICADOS

As tendências dos dados observados, podem ser mostrados através de linhas de tendência que adicionadas ao gráfico criado com os dados observados possibilitam a previsão de valores futuros. Para a definição do melhor método a ser aplicado neste trabalho o software da Microsoft, o Excel.

No Excel<sup>4</sup>, ao se lançarem os dados graficamente, adiciona-se a linha de tendência e ajusta-se aos dados observados, calculando-se automaticamente o valor de  $R^2$  (coeficiente de ajuste) que será, tanto mais preciso quanto for sua variação próxima ao valor unitário, pois assim revela a precisão com que os valores estimados para a linha de tendência correspondem aos valores reais.

Assim, utilizando-se o Excel verifica-se que o melhor método a ser aplicado neste trabalho é o da regressão polinomial múltipla de grau 2.

---

<sup>4</sup> Segundo consulta : <https://support.office.com>

## REGRESSÃO POLINOMIAL

Existem muitos casos em que o modelo obedece a um comportamento polinomial e para tal é necessária a adaptação do ajuste para uma função polinomial de grau superior, portanto podemos conceituar regressão polinomial como uma coleção de técnica estatísticas para construção de modelos que possam descrever com razoabilidade a relação entre diversas variáveis explicativas de um determinado processo.

A regressão polinomial pode ser considerada como uma generalização da regressão linear, portanto pode-se ao invés de ajustar a função:  $y = \alpha_0 + \alpha_1x + \epsilon$ , utilizar-se da função:  $y = \alpha_0 + \alpha_1x^1 + \alpha_2x^2 + \dots + \alpha_mx^m + \epsilon$ , que para ser ajustada em seus parâmetros, basta que se resolva um sistema de  $m+1$  equações lineares simultâneas, tal o desenvolvimento da regressão linear múltipla.

Os modelos de regressão polinomial têm características como: as variáveis explanatórias devem ser sempre quantitativas, representam modelos com resposta curvilínea e são fáceis de serem ajustados.

### COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO – $R^2$

Trata-se de uma medida de ajuste do modelo estatístico linear generalizado, tal como a regressão polinomial, em relação aos valores observados, conforme Equação 8. Varia entre 0 e 1, indicando em porcentagem, qual o modelo que melhor explica os valores observados. Quanto maior o valor do  $R^2$  mais ajustado o modelo estará em relação à amostra.

#### Equação 8 – Coeficiente de Determinação ( $R^2$ )

$$\bar{R}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-(k+1)} (1 - R^2)$$

onde:  $(k+1)$  representa o número de variáveis explicativas mais a constante.

Observa-se que a inclusão de mais variáveis com pouco poder explicativo prejudica o valor do  $R^2$  ajustado, porque aumenta  $k$  uma unidade, sem aumentar substancialmente o  $R^2$ .

## 3.2 DESENVOLVIMENTO

Para a obtenção das equações analíticas de tendência associadas a cada classe consumidora aplicou-se a regressão polinomial aos valores reais obtidos no período de fevereiro de 2015 a março de 2017, conforme Tabela 5, para a quantidade de mini e microgeradores que se inseriram no período por classe de consumo.

### 3.2.1 Classe Residencial - CR

Após o levantamento dos dados que resultou na Tabela 5, com os dados plotados de forma gráfica, conforme os Gráficos 4 e 5, definiram-se as equações das curvas analíticas de tendência para a CR para os parâmetros de quantidade e montante de energia injetada no sistema elétrico, conforme Equação 9 e 10. Observa-se ainda que, nos gráficos obtidos, o eixo cartesiano x corresponde aos valores mês a mês e o y ao mês correspondente, em observação.

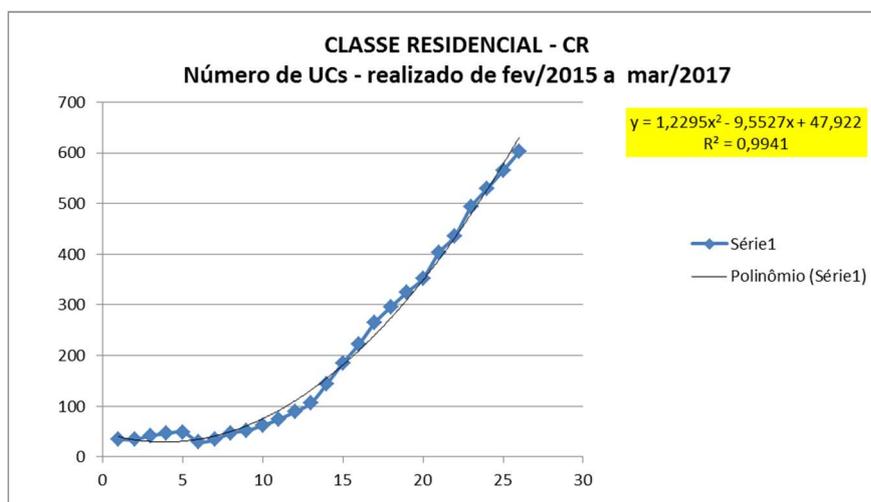
Obs.: No eixo y, o número 1 corresponde ao mês de fevereiro de 2015, o 2 à março de 2015 subsequentemente.

Tabela 5- Dados observados na classe residencial (CR) no período de fev/15 a mar/17

Y	CR		
		Nº	kWh
1	fev/15	35	2.503
2	mar/15	34	4.194
3	abr/15	42	3.297
4	mai/15	46	4.997
5	jun/15	49	4.942
6	jul/15	30	4.854
7	ago/15	34	6.048
8	set/15	47	10.058
9	out/15	52	12.938
10	nov/15	62	10.941
11	dez/15	74	13.264
12	jan/16	89	23.347
13	fev/16	106	35.511
14	mar/16	144	34.597
15	abr/16	185	48.223
16	mai/16	222	58.276
17	jun/16	265	46.510
18	jul/16	296	67.513
19	ago/16	325	85.525
20	set/16	352	102.587
21	out/16	403	133.254
22	nov/16	436	147.458
23	dez/16	493	142.829
24	jan/17	529	156.011
25	fev/17	565	158.636
26	mar/17	602	160.295

Fonte: Divisão de Mercado de uma Distribuidora do Sul do Brasil

Gráfico 4 – Quantidade de mini e microgeradores da CR conectados no período

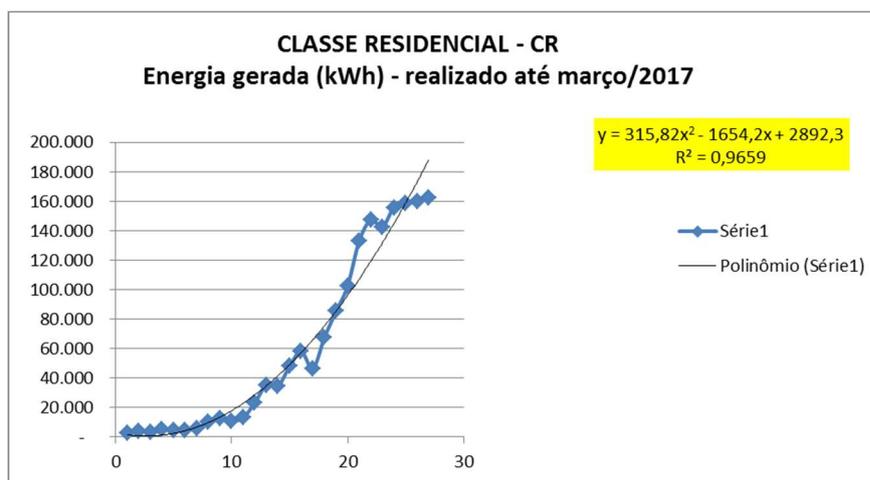


**Equação 9 : Equação da curva analítica de tendência da quantidade de mini e microgeradores da CR**

$$y = 1,2295x^2 - 9,5527x + 47,922$$

Pode-se observar que o  $R^2$  calculado de 0,9941 é próximo a 1 unidade, ratificando-se assim, que o método estatístico aplicado para a determinação da linha de tendência é apropriado para se extrapolar valores futuros por aproximá-los mais aos valores reais.

**Gráfico 5 – Montante de energia gerada na CR pelos mini e microgeradores (kWh)**



**Equação 10 - Curva analítica de tendência do montante de energia gerada na CR pelos mini e microgeradores (kWh)**

$$y = 315,82x^2 - 1654,2x + 2892,3$$

Pode-se observar que o  $R^2$  calculado de 0,9659 é próximo a 1 unidade, assim como na Equação 9, ratificando que o método estatístico aplicado para a determinação da linha de tendência é apropriado, podendo se extrapolar valores futuros mais próximos dos valores reais.

Comparando-se o comportamento da curva de quantidade de UCs do Gráfico 10 e da respectiva energia gerada do Gráfico 11 verificamos que enquanto o número de unidades consumidoras da CR aumenta ocorre uma tendência a estabilização na quantidade de energia gerada, que se explica pela possibilidade, que a legislação propiciou de se distribuir a energia gerada entre várias unidades, através da criação de modalidades como a geração compartilhada e condomínios na ReN 687/15 que atualizou a ReN 482/12.

### 3.2.2 Classe Comercial – CC

Após o levantamento dos dados que resultou na Tabela 6, com os dados plotados de forma gráfica, conforme os Gráficos 6 e 7, definiram-se as equações das curvas analíticas de tendência para a CC para os parâmetros de quantidade e montante de energia injetada no sistema elétrico, conforme Equação 11 e 12. Observa-se ainda que, nos gráficos obtidos, o eixo cartesiano x corresponde aos valores mês a mês e o y ao mês correspondente, em observação.

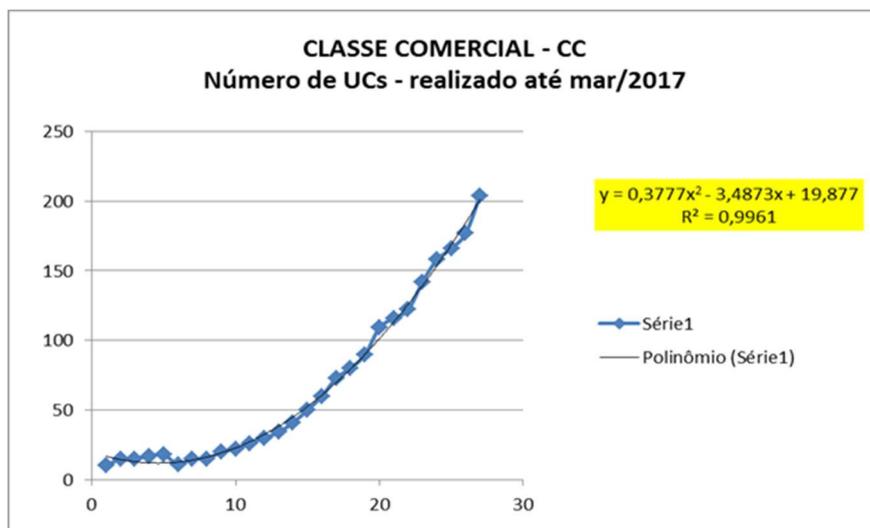
Obs.: No eixo y, o número 1 corresponde ao mês de fevereiro de 2015, o 2 à março de 2015 subsequentemente.

**Tabela 6 - Dados observados na classe comercial (CC) no período de fev/15 a mar/17**

Y	CC		
		Nº	kWh
1	fev/15	10	2.720
2	mar/15	15	1.241
3	abr/15	15	754
4	mai/15	17	2.954
5	jun/15	18	2.112
6	jul/15	11	1.519
7	ago/15	15	3.392
8	set/15	15	4.347
9	out/15	20	3.543
10	nov/15	22	5.034
11	dez/15	26	5.500
12	jan/16	30	7.819
13	fev/16	34	13.686
14	mar/16	41	12.471
15	abr/16	50	14.211
16	mai/16	60	25.074
17	jun/16	73	16.999
18	jul/16	80	23.732
19	ago/16	90	36.757
20	set/16	109	53.329
21	out/16	116	70.083
22	nov/16	122	80.707
23	dez/16	142	68.021
24	jan/17	158	112.760
25	fev/17	166	100.633
26	mar/17	177	96.205

Fonte: Divisão de Mercado de uma Distribuidora do Sul do Brasil

**Gráfico 6 – Quantidade de mini e microgeradores da CC conectados no período.**

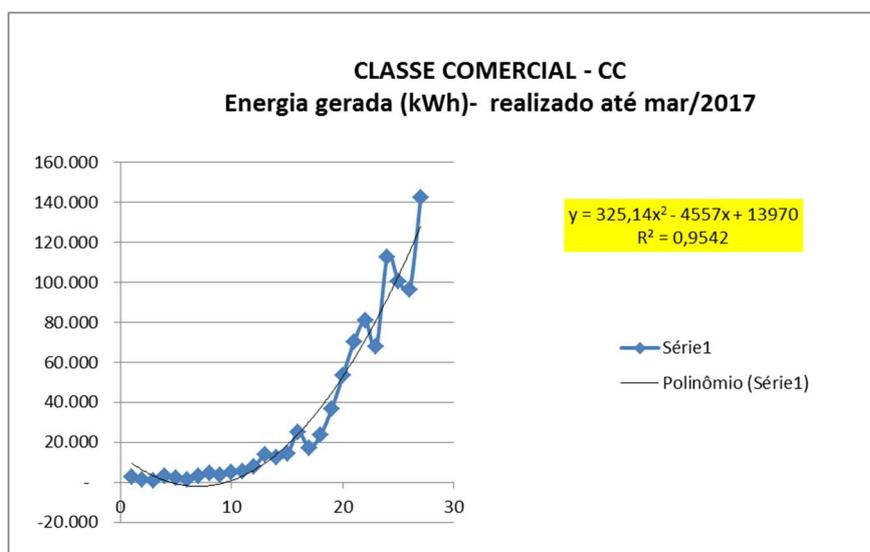


**Equação 11 - Equação da curva analítica de tendência da quantidade de mini e microgeradores da CC**

$$y = 0,3777x^2 - 3,4873x + 19,877$$

Pode-se observar que o  $R^2$  calculado de 0,9961 é próximo a 1 unidade, ratificando-se assim, que o método estatístico aplicado para a determinação da linha de tendência é apropriado para se extrapolar valores futuros por aproximá-los mais aos valores reais.

**Gráfico 7 – Montante de energia gerada na CC pelo mini e microgeradores (kWh)**



**Equação 12 - Curva analítica de tendência do montante de energia gerada na CC pelos mini e microgeradores (kWh)**

$$y = 325,14x^2 - 4557x + 13970$$

Pode-se observar que o  $R^2$  calculado de 0,9542 é próximo a 1 unidade, assim como na Equação 9, ratificando que o método estatístico aplicado para a determinação da linha de tendência é apropriado, podendo se extrapolar valores futuros mais próximos dos valores reais.

Comparando-se o comportamento da curva de quantidade de UCs do Gráfico 6 e da respectiva energia gerada do Gráfico 7 verifica-se que apresentam um comportamento correlato, seguindo os dois uma mesma linha de tendência de crescimento.

### 3.2.3 Classe Industrial – CI

Após o levantamento dos dados que resultou na Tabela 7, com os dados plotados de forma gráfica, conforme os Gráficos 8 e 9, definiram-se as equações das curvas analíticas de tendência para a CI para os parâmetros de quantidade e montante de energia injetada no sistema elétrico, conforme Equação 13 e 14. Observa-se ainda que, nos gráficos obtidos, o eixo cartesiano x corresponde aos valores mês a mês e o y ao mês correspondente, em observação.

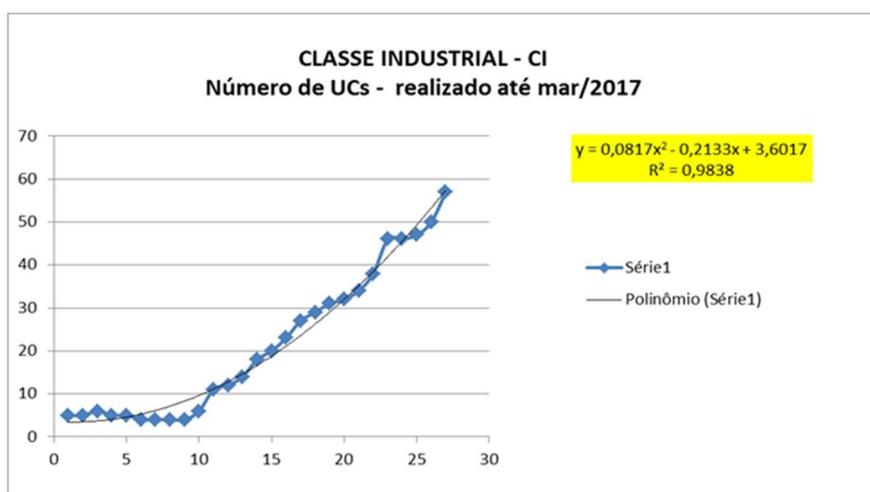
Obs.: No eixo y, o número 1 corresponde ao mês de fevereiro de 2015, o 2 à março de 2015 subsequentemente.

Tabela 7- Dados observados na classe industrial (CI) no período de fev/15 a mar/17

Y	CI	
	Nº	kWh
1	fev/15	5 212
2	mar/15	5 1
3	abr/15	6 201
4	mai/15	5 114
5	jun/15	5 57
6	jul/15	4 1.503
7	ago/15	4 797
8	set/15	4 2.779
9	out/15	4 2.248
10	nov/15	6 2.017
11	dez/15	11 3.216
12	jan/16	12 5.181
13	fev/16	14 8.333
14	mar/16	18 6.781
15	abr/16	20 6.969
16	mai/16	23 6.655
17	jun/16	27 4.697
18	jul/16	29 7.176
19	ago/16	31 9.848
20	set/16	32 14.137
21	out/16	34 16.855
22	nov/16	38 17.092
23	dez/16	46 43.214
24	jan/17	46 55.363
25	fev/17	47 105.643
26	mar/17	50 57.490

Fonte: Divisão de Mercado de uma Distribuidora do Sul do Brasil

Gráfico 8 – Quantidade de mini e microgeradores da CI conectados no período



**Equação 13 - Equação da curva analítica de tendência da quantidade de mini e microgeradores da CI**

$$y = 0,0817x^2 - 0,2133x + 3,6017$$

Pode-se observar que o  $R^2$  calculado de 0,9838 é próximo a 1 unidade, ratificando-se assim, que o método estatístico aplicado para a determinação da linha de tendência é apropriado para se extrapolar valores futuros por aproximá-los mais aos valores reais.

**Gráfico 9 – Montante de energia gerada na CI pelo mini e microgeradores (kWh)**



**Equação 14 - Curva analítica de tendência do montante de energia gerada na CI pelos mini e microgeradores (kWh)**

$$y = 250,81x^2 - 4405,9x + 14545$$

Pode-se observar que o  $R^2$  calculado é de 0,8049 é que, de todas as curvas analisadas até o momento é a que se posicionou mais distante de 1 unidade, então realizou-se uma investigação para uma análise mais detalhada dos dados observados. Verificou-se que entre o vigésimo e o trigésimo mês do período analisado, ocorreu um crescimento anormal que distorceu o valor realizado do mês.

Ao se realizar uma investigação constatou-se que a alteração deveu-se a uma única UC que variou sua geração em 187% e 70% a maior, em relação a sua média, em dois meses intercalados subsequentes.

Comparando-se o comportamento da curva de quantidade de UCs do Gráfico 13 e da respectiva energia gerada do Gráfico 14, excetuando-se a alteração causada

pelo comportamento da referida UC, verifica-se que apresentam um comportamento correlato, seguindo os dois uma mesma linha de tendência de crescimento.

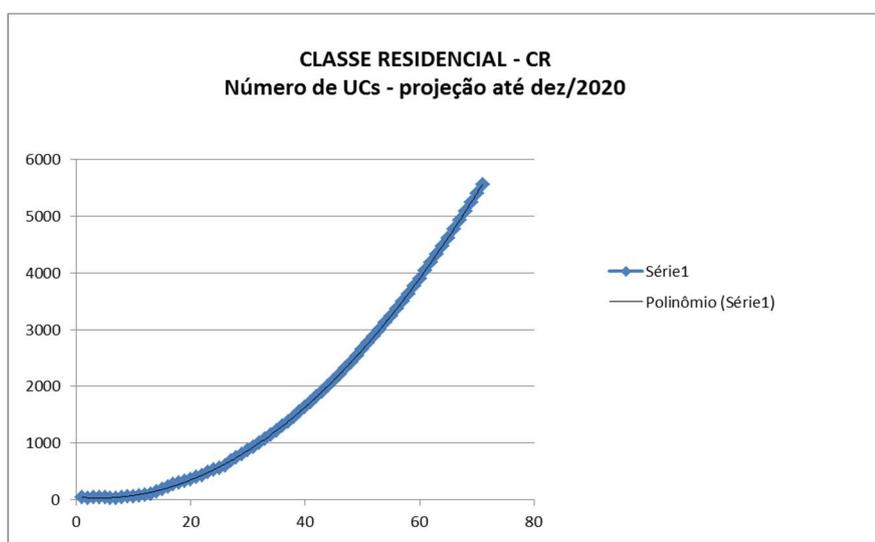
### 3.3 RESULTADOS

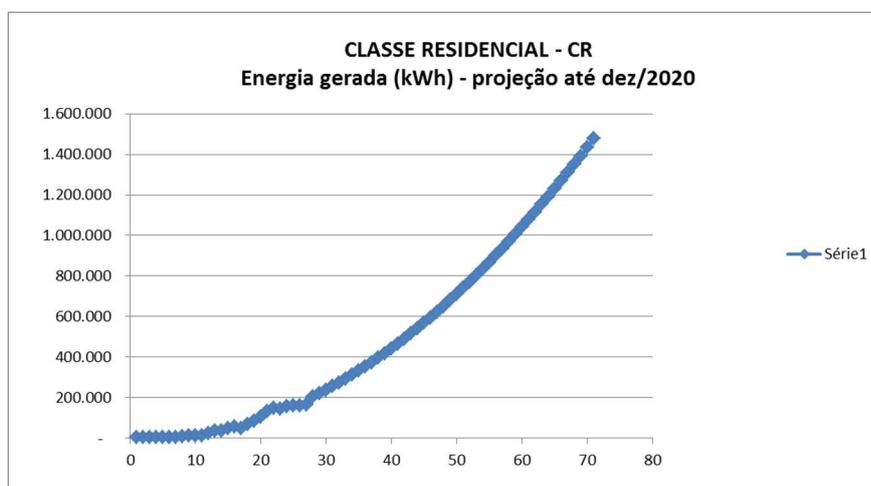
Após a definição das equações das curvas analíticas de tendência e a sua verificação pelo  $R^2$ , projetou-se para cada classe de consumo, a sua linha de tendência.

#### 3.3.1 Projeção Classe Residencial – CR

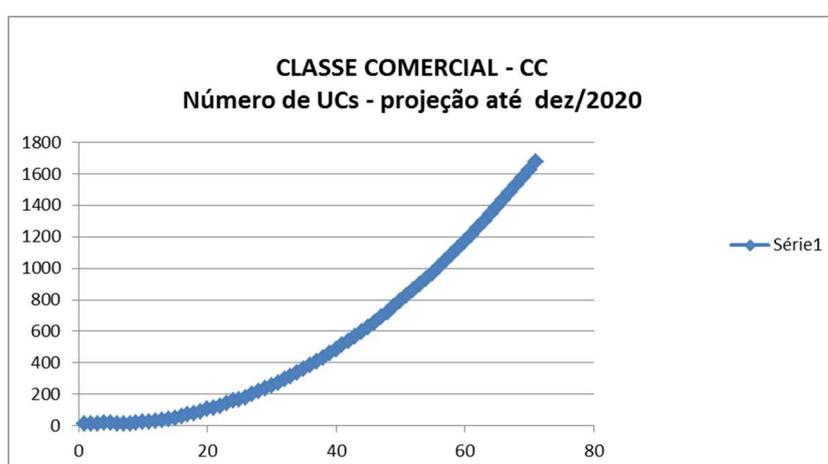
Aplicando-se a curva analítica de tendência definida de acordo com os dados observados no período de fevereiro de 2015 a março de 2017, conforme Equações 9 e 10, foi prospectado o mercado para o parâmetro de quantidade de UCs e o do respectivo montante de energia gerada (kWh) para a classe residencial até o ano de 2020.

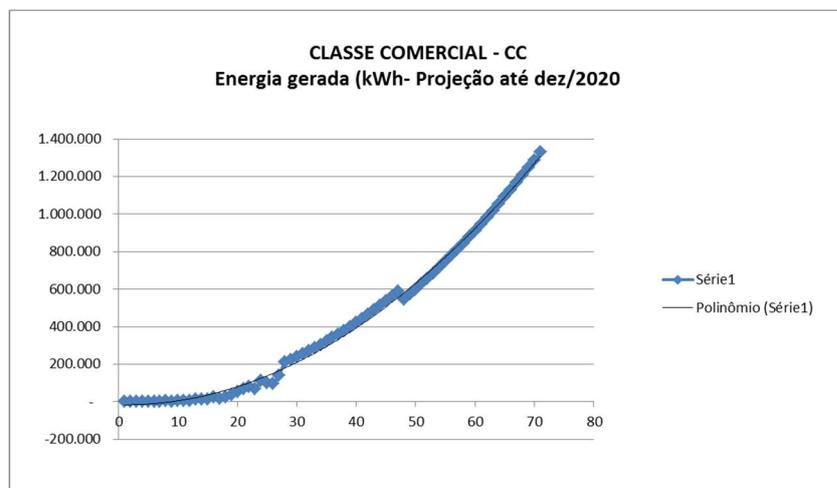
##### a. QUANTIDADE DE UCs



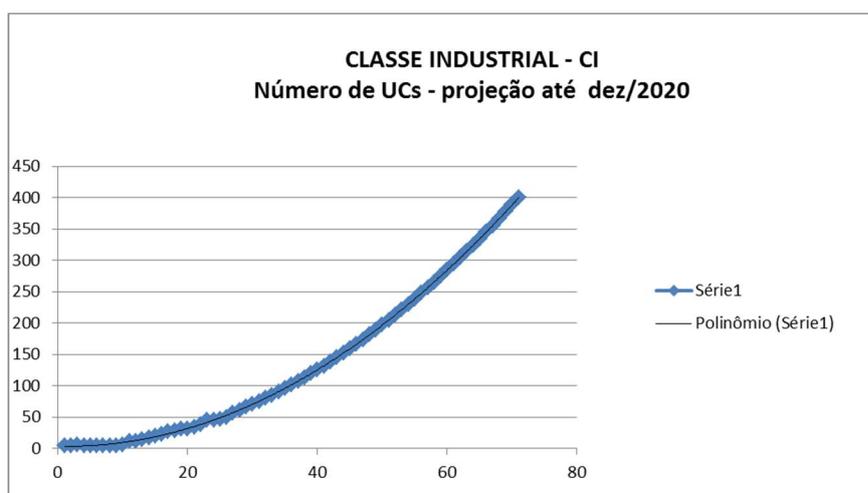
**b. ENERGIA GERADA (KWh)****3.3.2 Projeção Classe Comercial – CC**

Aplicando-se a curva analítica de tendência definida de acordo com os dados observados no período de fevereiro de 2015 a março de 2017, conforme Equações 11 e 12, foi prospectado o mercado para o parâmetro de quantidade de UCs e o do respectivo montante de energia gerada (kWh) para a classe residencial até o ano de 2020.

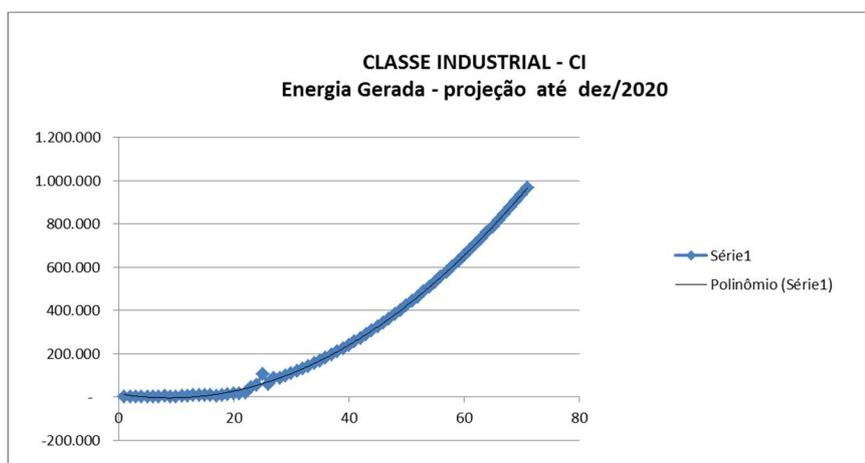
**a. QUANTIDADE DE UCs**

**b. ENERGIA GERADA (KWh)****3.3.3 Projeção Classe Industrial – CI**

Aplicando-se a curva analítica de tendência definida de acordo com os dados observados no período de fevereiro de 2015 a março de 2017, conforme Equações 13 e 14, foi prospectado o mercado para o parâmetro de quantidade de UCs e o do respectivo montante de energia gerada (kWh) para a classe residencial até o ano de 2020.

**a. QUANTIDADE DE UCs**

## b. ENERGIA GERADA (KWh)



No caso da prospecção da energia gerada referente a classe de consumo industrial (CI), devido ao fato do  $R^2$  ter sido de 0,8049, por causa do comportamento de uma UC que gerou de forma irregular durante dois meses intercalados subsequentes, para validação da curva aplicada, observou-se o  $R^2$  da curva ajustada para a extrapolação feita até 2020 e que foi de 0,999 o que a validou, mostrando que a discrepância foi absorvida ao longo do tempo.

### 3.4 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

A avaliação dos resultados obtidos foi realizado conforme a estratificação feita no desenvolvimento:

#### CLASSE RESIDENCIAL – CR

A variação percentual dos resultados obtidos nos parâmetros predefinidos para esta classe: números de UC e energia injetada em kWh é mostrada na Tabela 8.

**Tabela 8 - Variação percentual da quantidade de UC e da energia gerada pela CR no período**

CONSUMIDOR RESIDENCIAL			
Período		Nº	kWh
fev/15	dez/15	52,70%	81,13%
jan/16	dez/16	81,95%	83,65%
jan/17	dez/17	56,63%	52,99%
jan/18	dez/18	43,95%	43,38%
jan/19	dez/19	35,65%	35,19%
jan/20	dez/20	29,93%	29,57%

Diante dos resultados obtidos verifica-se que:

- i. o crescimento do número de unidades consumidoras residenciais, percentualmente é similar ao do montante de energia gerada nesta classe de consumo.
- ii. no ano de 2016, houve crescimento muito acima do percentual verificado nos demais períodos estudados. Em março de 2016 a ANEEL publicou a ReN 687/15 que modificou a ReN 482/12, facilitando e ampliando o acesso ao Sistema de Compensação de Energia.
- iii. após o aumento desproporcional percentual ocorrido em 2016, a tendência é de um decréscimo percentual gradual nos demais períodos futuros até alcançar um ponto de estabilização.

#### CLASSE COMERCIAL – CC

A variação percentual dos resultados obtidos nos parâmetros predefinidos para esta classe: números de UC e energia injetada em kWh é mostrada na Tabela 9.

**Tabela 9 - Variação percentual da quantidade de UC e da energia gerada pela CC no período**

CONSUMIDOR COMERCIAL			
Período		Nº	kWh
fev/15	dez/15	61,54%	50,55%
jan/16	dez/16	78,87%	88,51%
jan/17	dez/17	56,17%	65,05%
jan/18	dez/18	44,40%	41,97%
jan/19	dez/19	35,98%	37,92%
jan/20	dez/20	30,18%	31,47%

Diante dos resultados obtidos verifica-se que:

- i. o crescimento do número de unidades consumidoras comerciais, percentualmente é similar ao do montante de energia gerada nesta classe de consumo.
- ii. no ano de 2016, houve crescimento muito acima do percentual verificado nos demais períodos estudados. Em março de 2016 a ANEEL publicou a

ReN 687/15 que modificou a ReN 482/12, facilitando e ampliando o acesso ao Sistema de Compensação de Energia.

- iii. após o aumento desproporcional percentual ocorrido em 2016, a tendência é de um decréscimo percentual gradual nos demais períodos futuros até alcançar um ponto de estabilização.

#### CLASSE INDUSTRIAL – CI

A variação percentual dos resultados obtidos nos parâmetros predefinidos para esta classe: números de UC e energia injetada em kWh é mostrada na Tabela 10.

**Tabela 10 - Variação percentual da quantidade de UC e da energia gerada pela CI no período**

<b>CONSUMIDOR INDUSTRIAL</b>			
<b>Período</b>		<b>Nº</b>	<b>kWh</b>
fev/15	dez/15	54,55%	93,41%
jan/16	dez/16	73,91%	88,01%
jan/17	dez/17	52,19%	66,96%
jan/18	dez/18	41,51%	49,94%
jan/19	dez/19	34,06%	39,31%
jan/20	dez/20	28,82%	32,39%

Diante dos resultados obtidos verifica-se que:

- i. o crescimento do número de unidades consumidoras industriais, por ter um comportamento diferenciado, percentualmente até 2017, foi bem menor que o ocorrido com o montante de energia gerada nesta classe de consumo, mas para os períodos futuros observa-se leve queda, tendendo como as demais classes de consumo analisadas a estabilização.
- ii. o crescimento percentual verificado em 2016 é decorrente da publicação pela ANEEL da ReN 687/15 que modificou a ReN 482/12, facilitando e ampliando o acesso ao Sistema de Compensação de Energia.

## 4 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

### 4.1 CONCLUSÕES

O acréscimo da adesão de mini e microgeradores no Sistema de Compensação de Energia incentivados pelo governo e pela legislação pertinente, faz com que uma classe de consumidores com características específicas, que podem se conectar e desconectar do sistema elétrico sem a necessidade de aviso prévio tornaram a projeção de mercado de energia das distribuidoras com esta inserção, um desafio a ser transposto.

Então torna-se importante o desenvolvimento de uma metodologia que avalie o impacto e a inclusão no mercado da concessionária do mini e microgerador ao sistema elétrico da distribuidora e assim, auxiliar quando da projeção do mercado de energia elétrica da distribuidora.

Com a análise da metodologia atualmente aplicada pela EPE para projeção de mercado de energia verifica-se que o comportamento destes consumidores geradores inseridos em qualquer das classes de consumo se dá de forma independente e não segue a mesma trajetória elencada para os consumidores típicos pela não existência de um histórico anterior de maior amplitude para análise.

O método da regressão polinomial múltipla de segunda ordem foi o que melhor refletiu o comportamento e viabilizou sua extrapolação para um horizonte futuro de especulação.

A análise dos dados realizados nos mostra que houve um incremento percentual significativo durante o ano de 2016, com a publicação da ReN 687/15 que ampliou e simplificou a ReN 482/12, facilitando a inserção de mini e microgeradores ao sistema elétrico sob o Sistema de Compensação de Energia.

A extrapolação dos resultados obtidos no período de fevereiro de 2015 a março de 2017, permitiu criar uma linha de tendência até dezembro de 2020, permitindo a visualização também que em num prazo de 3 anos, esta tende a estabilização de crescimento no mercado de energia, desde que nenhum evento

extremo significativo (programas de governo, mudanças na legislação, questões tarifárias/ tributárias, etc.) afete esta tendência de comportamento.

Devido ao tipo de enfoque dado (estatístico) e ao pequeno período levantado dos dados realizados mensalmente, que ainda sofreu alteração de comportamento devido a fatores regulatórios externos, para que possa ser validado deve ser acompanhado até o final do ano de 2020. Assim, poderá ser aprimorado e se obtenha uma resposta mais eficaz.

As equações das curvas analíticas de tendência das classes de consumo, auxiliarão aos profissionais, da área de mercado, nas análises de projeção de mercado de energia elétrica.

#### 4.2 TRABALHOS FUTUROS

Com a realização de trabalhos futuros abordando esta temática, vislumbram-se a abordagem estendida para os demais segmentos do mercado de energia elétrica, individualizados pelas classes de consumo e por tipos de fontes renováveis abordados, através da estratificação do mercado, partindo-se de uma fórmula generalizada para uma específica e mais precisa.

Outro ponto importante é a de se extrapolar a projeção de mercado para períodos maiores que 3 anos, que será importante para o planejamento a longo prazo, melhorando a prospecção da análise atual.

## REFERÊNCIAS

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Micro e Minigeração Distribuída – Sistema de Compensação de Energia** - Cadernos Temáticos – 2ª edição, Brasília, 2016.

ANEEL. **ReN 482 de 17 de abril de 2012**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, Estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>.

ANEEL. **ReN 687 de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição PRODIST: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>.

Biblioteca Excel. **Criação de gráficos com linhas de tendência estatística**, [http://www.cavalcanteassociados.com.br/biblioteca\\_excel](http://www.cavalcanteassociados.com.br/biblioteca_excel)

EXCELL. **Adicionar uma tendência ou linha média a um gráfico**, <https://support.office.com/pt-br/excel>.

FARIA, E. M.,. **Estudo da Inserção de Mini e Microgeração Fotovoltaica Distribuída na Projeção de Demanda da Classe Residencial**, UFRGS, Porto Alegre, 2014.

KAZMIER, L.J. **Estatística Aplicada à Administração e Economia**, Arizona State University, USA, 2007. (tradução: Adriano S V Cardoso, Faculdade de Sabará, MG, 2008).

LAUTENSCHLEGER, A. H. **Projeção de Demanda de Energia Elétrica da Classe Residencial Considerando a Inserção de Micro e Minigeração Fotovoltaica**, UFRGS, Porto Alegre, 2013.

MME/EPE (Ministério de Minas e Energia /Empresa de Pesquisa Energética). **Mercado de Energia Elétrica – 2006-2015**, Rio de Janeiro, 2005.

MME/EPE (Ministério de Minas e Energia /Empresa de Pesquisa Energética). **Relatório Analítico – Projeções do Mercado de Energia Elétrica – 2005-2015**.