

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RODRIGO ALAN THOMAZ

DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL: 1995-2015

CURITIBA

2017

RODRIGO ALAN THOMAZ

DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL: 1995-2015

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Economia, Área de Concentração em Desenvolvimento Econômico, departamento de Economia, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Minoru Hasegawa

CURITIBA

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. SISTEMA DE BIBLIOTECAS.
CATALOGAÇÃO NA FONTE

Thomaz, Rodrigo Alan

Demanda de energia elétrica no Brasil: 1995-2015 / Rodrigo Alan Thomaz. - 2017.

53 f.

Orientador: Marcos Minoru Hasegawa.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico.

Defesa: Curitiba, 2017.

1. Energia elétrica – Oferta e procura - Brasil. 2. Energia elétrica - Consumo – Previsão - Brasil. I. Hasegawa, Marcos Minoru, 1969-. II. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Sociais Aplicadas. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico. III. Título.

CDD 333.7932




MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
Setor CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
Programa de Pós Graduação em DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO
Código CAPES: 40001016051P7

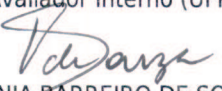
TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **RODRIGO ALAN THOMAZ**, intitulada: "**Demanda de Energia Elétrica no Brasil: 1995-2015**", após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO.

Curitiba, 22 de Março de 2017.


MARCOS MINORU HASEGAWA
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)


ADRIANA SBICCA FERNANDES
Avaliador Interno (UFPR)


KÊNIA BARREIRO DE SOUZA
Avaliador Externo (UFPR)

Dedico esta dissertação ao meu filho Fernando e minha esposa Susana.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar agradecimento ao meu orientador Prof. Dr. Marcos Minoru Hasegawa, pelo comprometimento na realização desta dissertação.

Fatos são o ar da ciência. Sem eles, um cientista não progride. Sem eles, suas teorias são apenas suposições vãs. Mas, quando estiver observando, experimentando, não se contente com a superfície das coisas. Não se transforme em mero anotador de dados, mas tente penetrar o mistério de sua origem.

Ivan Petrovich Pavlov (1849-1936)

RESUMO

O objetivo deste trabalho é estimar a demanda de energia elétrica para o Brasil por classes de consumo e com dados agregados. Além disso, são realizadas previsões para demanda por energia elétrica para o período de 2016 a 2020. A previsão da demanda é fundamental para o planejamento do setor, pois ao se realizar estimativas mais precisas de demanda, pode-se mitigar o risco de desequilíbrio entre oferta e demanda. Outra aplicação da previsão da demanda é para as empresas que atuam no segmento de geração. Esta informação é relevante, pois pode subsidiar a elaboração do plano de expansão das empresas e também as estratégias de participação em leilões de contratação de energia. Para estimar o modelo, primeiro, foram realizados os testes de estacionariedade para verificar o comportamento individual das séries de demanda de energia elétrica, renda e o preço. Em seguida foi verificado se as séries são cointegradas, com a aplicação do procedimento Johansen, com os testes do traço e máximo autovalor. Como as séries por classe de consumo e com dados agregados são cointegradas, ou seja, existe uma relação de equilíbrio de longo prazo, é indicado o modelo vetorial de correção de erros (VCE). Nas previsões para o período de 2016 a 2020, verificou-se que as estimativas com os dados agregados demonstraram uma melhor adequação em comparação as estimativas com informações da Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Palavras-chave: Demanda de energia elétrica. Cointegração. Modelo vetorial de correção de erros.

ABSTRACT

The objective of this work is to estimate the electric energy demand for Brazil by consumption classes and with aggregated data. In addition, forecasts are made for demand for electricity for the period from 2016 to 2020. Demand forecasting is fundamental to the planning of the sector, since by making more precise estimates of demand, one can mitigate the risk of an imbalance between supply and demand. Another application of demand forecasting is for companies operating in the generation segment. This information is relevant because it can subsidize the elaboration of the company expansion plan and also the strategies of participation in auctions of contracting of energy. To estimate the model, first, the stationarity tests were performed to verify the individual behavior of the series of electric energy demand, income and price. Then it was verified if the series are cointegrated, with the application of the Johansen procedure, with the tests of the trace and maximum eigenvalue. As the series by consumption class and aggregated data are cointegrated, that is, there is a long term equilibrium relation, the vector error correction model (VEC) is indicated. In the forecasts for the period from 2016 to 2020, it was verified that the estimates with the aggregate data showed a better adequacy in comparison with the estimates with Empresa de Pesquisa Energética (EPE) information.

Keywords: Electric energy demand. Cointegration. Vector error correction model.

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – GERAÇÃO POR FONTE (%) - BRASIL - 2015.....	19
GRÁFICO 2 – CONSUMO POR CLASSE (%) - BRASIL - 2015	22
GRÁFICO 3 – CONSUMO POR CLASSE (GWh) - BRASIL - 1995-2015	22
GRÁFICO 4 – PROJEÇÃO DE OFERTA E DEMANDA DE ENERGIA.....	25
GRÁFICO 5 – FUNÇÃO IMPULSO-RESPOSTA	46
GRÁFICO 6 – DECOMPOSIÇÃO DA VARIÂNCIA.....	47
GRÁFICO 7 – PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA - 2016-2020	48

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – MODELO ECONOMETRICO E REFERENCIAL EMPÍRICO.....	28
TABELA 2 – HIPÓTESES TESTE DO TRAÇO.....	35
TABELA 3 – HIPÓTESES TESTE DE MÁXIMO AUTOVALOR.....	35
TABELA 4 – DADOS UTILIZADOS E FONTES	38
TABELA 5 – TESTE ADF PARA VARIÁVEIS EM NÍVEL E EM PRIMEIRAS DIFERENÇAS.....	40
TABELA 6 – TESTE KPSS PARA VARIÁVEIS EM NÍVEL E EM PRIMEIRAS DIFERENÇAS.....	40
TABELA 7 – CRITÉRIO DE INFORMAÇÃO DE AIC, BIC E HQC.....	41
TABELA 8 – RESULTADO TESTE DO TRAÇO	42
TABELA 9 – RESULTADO DO TESTE DE MÁXIMO AUTOVALOR.....	43
TABELA 10 – ESTIMAÇÃO DE ΔLNC_r – CLASSE RESIDENCIAL	44
TABELA 11 – ESTIMAÇÃO DE ΔLNC_i – CLASSE INDUSTRIAL.....	45
TABELA 12 – ESTIMAÇÃO DE ΔLNC_c – CLASSE COMERCIAL.....	45
TABELA 13 – ESTIMAÇÃO DE ΔLNC – DADOS AGREGADOS	45
TABELA 14 – PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA – 2016-2020.....	47
TABELA 15 – COMPARATIVO DE ESTIMATIVAS	49

LISTA DE SIGLAS

ABRADEE	– Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ACL	– Ambiente de Contratação Livre
ACR	– Ambiente de Contratação Regulada
ADF	– Aumentado de Dickey-Fuller
AIC	– Critério de informação de Akaike
AMFORP	– American & Foreign Power Company
ANEEL	– Agência Nacional de Energia Elétrica
AR	– Auto regressivo
ARIMA	– Auto Regressivo Integrado de Média Móvel
A-3	– Leilão para contratação de energia elétrica com antecedência de 3
A-5	– Leilão para contratação de energia elétrica com antecedência de 5
BIC	– Critério de informação Bayesiano de Schwarz
CCEE	– Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CDE	– Conta do Desenvolvimento Energético
CHESF	– Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
CMBEU	– Comissão Mista Brasil-EUA
CNAEE	– Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica
ELETROBRÁS	– Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EPE	– Empresa de Pesquisa Energética
GRETL	– GNU <i>Regression, Econometric and Time-series Library</i>
GWh	– Gigawatt hora
HQC	– Critério de Hannan-Quinn
IGP-DI	– Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
KPSS	– Kwiatkowski, Phillips, Schmidt e Shin
LNCr	– Logaritmo neperiano do consumo de energia elétrica da classe residencial
LNyr	– Logaritmo neperiano do produto interno bruto per capita
LNTr	– Logaritmo neperiano da tarifa de energia elétrica da classe residencial
LNCi	– Logaritmo neperiano do consumo de energia elétrica da classe industrial

LN _Y _i	–	Logaritmo neperiano do produto interno bruto industrial
LN _T _i	–	Logaritmo neperiano da tarifa de energia elétrica da classe industrial
LN _C _c	–	Logaritmo neperiano do consumo de energia elétrica da classe comercial
LN _Y _c	–	Logaritmo neperiano do produto interno bruto de serviços
LN _T _c	–	Logaritmo neperiano da tarifa de energia elétrica da classe comercial
LNC	–	Logaritmo neperiano do consumo de energia elétrica
LN _Y	–	Logaritmo neperiano do PIB
LNT	–	Logaritmo neperiano da tarifa de energia elétrica
MME	–	Ministério de Minas e Energia
MQD	–	Mínimos Quadrados Dinâmico
MQ2D	–	Mínimos Quadrados em Dois Estágios
MQI	–	Mínimos Quadrados Instrumentais
MQO	–	Mínimos Quadrados Ordinários
MR	–	Mudança de Regime
MWh	–	Megawatt hora
ONS	–	Operador Nacional do Sistema
PIB	–	Produto Interno Bruto
PDE	–	Plano Decenal de Expansão de Energia
PLD	–	Preço de liquidação das diferenças
PNE	–	Plano Nacional de Energia
REVISE	–	Revisão Institucional do Setor Elétrico
SGS	–	Sistema Gerenciador de Séries Temporais
SIN	–	Sistema Integrado Nacional
VAR	–	Vetor Auto Regressivo
VCE	–	Vetor de Correção de Erros

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA.....	14
3	VISÃO GERAL DO SETOR ELÉTRICO.....	19
3.1	SEGMENTOS DO SETOR ELÉTRICO.....	19
3.2	AGENTES DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA.....	20
3.3	CONSUMO DE ENERGIA POR CLASSE.....	21
3.4	O PLANEJAMENTO DO SETOR ELÉTRICO.....	23
3.5	LEILÕES DE CONTRATAÇÃO DE ENERGIA.....	23
3.6	PLANEJAMENTO DAS EMPRESAS DO SEGMENTO DE GERAÇÃO.....	24
4	REVISÃO DE LITERATURA.....	25
5	METODOLOGIA.....	28
5.1	MODELO ECONOMETRICO.....	28
5.2	SÉRIES TEMPORAIS, COINTEGRAÇÃO E O MODELO DE CORREÇÃO DE ERROS.....	30
5.2.1	Teste de estacionariedade.....	31
5.2.1.1	Teste aumentado de Dickey-Fuller.....	32
5.2.1.2	Teste KPSS.....	33
5.2.2	Cointegração.....	33
5.2.2.1	Teste de Johansen.....	35
5.2.3	Vetores auto regressivos (VAR) e o modelo vetorial de correção de erros (VCE).....	35
5.3	FUNÇÃO IMPULSO-RESPOSTA E DECOMPOSIÇÃO DA VARIÂNCIA.....	38
5.4	DADOS UTILIZADOS.....	38
6	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	39
6.1	TESTE DE ESTACIONARIEDADE.....	39
6.2	CRITÉRIO DE INFORMAÇÃO DE AIC, BIC E HQC.....	41
6.3	TESTES DE COINTEGRAÇÃO.....	42
6.4	ESTIMAÇÃO DO VCE.....	44
6.5	FUNÇÃO IMPULSO-RESPOSTA E DECOMPOSIÇÃO DA VARIÂNCIA.....	46
6.6	PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA.....	47
7	CONCLUSÃO.....	49
	REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

No ano de 2015 o Brasil enfrentou uma crise energética sem precedentes, mesmo se comparada ao racionamento de 2001. A falta de investimento no setor, aumento do consumo de energia elétrica e falta de chuva culminaram na crise.

Diante dos problemas de abastecimento, o Brasil ativou as usinas termoelétricas, que tem um alto custo de geração, o que elevou a tarifa, trazendo impactos significativos em todos os setores da economia e diretamente no bolso do consumidor.

O planejamento do setor, tendo em vista o atendimento do crescimento da demanda é variável fundamental, visando mitigar o risco de desequilíbrios entre oferta e demanda de energia elétrica.

A previsão do comportamento da demanda permite dimensionar as necessidades de investimentos e canalizá-los nos setores críticos, tornando-se importante ferramenta de planejamento, no sentido de que pode evitar a elevação de custos, racionamentos ou excessos de capacidade instalada. Outra aplicação do estudo da demanda é para o planejamento da expansão de empresas do setor, no sentido de se estimar a demanda futura e compará-la com a oferta, e assim, subsidiar o planejamento e a estratégia para participação em leilões de energia elétrica.

Neste trabalho é analisada a demanda de energia elétrica no Brasil no período de 1995 até 2015, sendo o objetivo estimar a demanda de energia elétrica por classes de consumo e com dados agregados. Além disso, serão realizadas previsões para demanda por energia elétrica para o período de 2016 a 2020.

O trabalho está dividido em seis seções, além desta introdução. A segunda seção apresenta a evolução histórica do setor de energia elétrica. A terceira é uma visão geral do setor. Na quarta é apresentado um referencial empírico de outros estudos realizados no Brasil. Na quinta seção é demonstrado como o problema é analisado. Na sexta seção são apresentados os resultados e por fim têm-se a conclusão na sétima seção.

2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA

A utilização de energia elétrica começou no Brasil na década de 1880 na atividade fabril e na prestação de serviços públicos. Até o final de 1890 eram poucas empresas e nenhuma organização institucional no setor.

Com o fim da Monarquia, o Brasil constituiu um novo regime jurídico-legal, com autonomia administrativa para estados e municípios. Segundo Lima¹ (1983 *apud* GOMES e VIEIRA, 2009), o princípio básico do setor elétrico era de que as jazidas minerais, as quedas de água e todos os recursos hídricos fossem acessórios a propriedade da terra.

Em 1899 o grupo Light chega a São Paulo e em 1905 no Rio de Janeiro. O grupo Light veio ao Brasil em um período que a disponibilidade de recursos estrangeiros e os investimentos eram estimulados pela cláusula ouro, que tinha a função de corrigir as tarifas de energia elétrica pela depreciação cambial.

A empresa American & Foreign Power Company (AMFORP) chega ao Brasil em 1927, onde adquiriu empresas nacionais e dividiu o mercado com a Light. Nesta época começa um relacionamento entre as organizações e uma estruturação do setor, ainda que a atuação do Estado fosse limitada, dado que os municípios eram os poderes concedentes.

Com a crise de 1929 e início do governo de Getúlio Vargas, muda o papel do Estado em 1930, que passa a ter atuação a nível nacional, sobrepondo muitas vezes os interesses regionais. Assim, no período entre 1931 e 1934 ocorreram diversas mudanças no setor elétrico, em 1931 a União passa a ser o poder concedente e em 1934 é eliminada a cláusula ouro e promulgado Código das Águas, sendo o primeiro marco regulatório do setor. Os investimentos estrangeiros neste período ficaram estagnados, aliados a falta de participação do Estado e levaram o setor a apresentar dificuldades para atender a demanda, desta maneira, em 1939 foi criado o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE), com o objetivo de estudar as questões ligadas à exploração e à utilização da energia elétrica no país. Em 1945 é criada a primeira empresa estatal federal de geração de energia elétrica, a Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF), com o objetivo de atender a demanda da região nordeste.

Em 1951, com a criação da Comissão Mista Brasil-EUA (CMBEU) eram analisados os investimentos e recursos que seriam disponibilizados por bancos internacionais, com a contrapartida de se utilizar os recursos nacionais para financiar projetos de infraestrutura. Nos entanto, em 1953 as atividades da CMBEU foram suspensas, assim, sem obter recursos externos, o governo encaminhou ao Congresso Nacional projetos que visavam à reorganização institucional da infraestrutura produtiva. Nesta época já existia proposta da

¹ LIMA, J. L. Estado e Desenvolvimento do Setor Elétrico no Brasil: das origens à criação da Eletrobrás. Dissertação (Mestrado em Economia) – Faculdade de Economia e Administração, USP, São Paulo, 1983.

criação das Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRÁS), sendo a holding das empresas estatais do setor de energia.

Com o início do governo de Juscelino Kubitschek em 1956, houve um crescimento dos projetos do setor e foram construídas várias usinas hidrelétricas, nesta época é criado o Ministério de Minas e Energia (MME), anteriormente, os assuntos de minas e energia eram de responsabilidade do Ministério da Agricultura. Em 1962 é criada a Eletrobrás e assim iniciou uma mudança do modelo institucional, embora a Light e a Amforp continuassem influenciando o setor. Neste período o Estado foi o grande indutor do crescimento do setor elétrico devido a falta de alternativas, e segundo Lima (1983 *apud* GOMES e VIEIRA, 2009), não foi nenhum movimento ideológico, nenhuma bandeira de estatização organizada, estruturada, que levou o governo a entrar no setor elétrico.

Com a criação da Eletrobrás, o setor elétrico teve uma participação maior do Estado, e após 1963, com a disponibilidade de recursos externos, o Estado criou várias empresas estatais. Em 1964 começa a nacionalização do setor, com a aquisição do grupo Amforp pela Eletrobrás, o processo de nacionalização só terminou com a aquisição da Light em 1979 também pela Eletrobrás. As empresas do grupo Amforp que atuavam no âmbito estadual foram adquiridas pelos próprios estados.

Após a segunda crise do petróleo em 1979, a moeda nacional foi maxi desvalorizada e as taxas de juros internacionais se elevaram, estes fatores contribuíram para diminuição do crescimento econômico, influenciando negativamente as empresas do setor de energia elétrica. Em 1982, com a moratória do México, os financiamentos externos foram suspensos, o que paralisou novos investimentos. Nesta conjuntura, o governo utilizava a tarifa de energia elétrica para controlar a inflação, o que acabava prejudicando ainda mais as empresas do setor. Assim, em 1987 a Eletrobrás e o MME realizam um fórum chamado Revisão Institucional do Setor Elétrico (REVISE), onde as entidades do setor discutiram com o objetivo de constituir um novo modelo institucional.

A década de 1990 começa insustentável, onde o Estado já não podia investir e as empresas estatais estavam endividadas, sendo uma das soluções a privatização das empresas do setor. Neste cenário, em 1993 foi promulgada a Lei nº 8.631 com a principal função de equalizar os débitos e os créditos dos agentes do setor. E em 1995 teve início a Lei nº 8.987/95, conhecida como a Lei das Concessões, onde estabelecia as regras para concessão de serviços públicos, que passaram a ser concedidos por meio de licitação, fato este que acabou ajudando a desnacionalização do setor de energia elétrica.

Outro fato relevante na década de 1990 foi criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 1996 para atuar como órgão regulador e também a criação do Operador Nacional do Sistema (ONS) para realizar a operação centralizada do sistema elétrico nacional.

Com as dificuldades enfrentadas pelo setor, em 2001 ocorre o racionamento e logo após é criada a Câmara de Gestão da Crise de Energia para administrar e disponibilizar energia.

O setor elétrico desde 1995 começou sua reforma institucional com o objetivo de viabilizar a sua expansão. Mas foi somente em 2004 que foram promulgadas as Leis nº 10.847 e nº 10.848, conhecidas como a Lei do Novo Modelo do Setor Elétrico, que definiu alterações significativas no setor, visando atingir os seguintes objetivos, conforme cita Ozorio (2015):

- Garantir a segurança do suprimento de energia elétrica;
- Promover modicidade tarifária²;
- Promover a inserção social no setor elétrico.

Além dos objetivos citados, também foram criados dois mercados para comercialização de energia elétrica, sendo um o Ambiente de Contratação Regulada (ACR), que visa atender somente as distribuidoras de energia elétrica, por meio de leilões públicos que garantem o fornecimento de energia para consumidores cativos³. O outro mercado é o Ambiente de Contratação Livre (ACL), destinado a autoprodutores, consumidores livres e comercializadoras.

Na nova Lei, as empresas distribuidoras são obrigadas a adquirir energia para 100% de sua demanda. Nesta época ocorreu também a desverticalização do setor, onde as empresas distribuidoras não participaram mais da atividade de geração. Outra alteração importante foi a criação da Garantia Física de lastro da geração para toda energia comercializada em contratos e a impossibilidade de auto contratação.

Em 2012 o setor elétrico estava sendo alvo de debates, em um cenário de falta de chuvas e problemas entendidos como sendo originários da falta de planejamento. Além disso, o crescimento do setor industrial estava caindo e havia uma preocupação sobre o custo da energia elétrica para o setor e as renovações de concessões anteriores a Lei nº 8.987/1995 que venceriam em 2015. Neste contexto foi editada a Medida Provisória nº 579, que mais tarde se converteria na Lei nº 12.783/2013, que tinham o objetivo de reduzir o custo da energia para o

²Modicidade tarifária significa a menor tarifa possível que garanta a segurança no abastecimento e qualidade dos serviços prestados e ainda diminua o risco de déficit de energia elétrica.

³Os consumidores cativos são aqueles que compram a energia diretamente das concessionárias de distribuição.

consumidor brasileiro. O custo da energia para os consumidores viria de três medidas, conforme Costellini e Hollanda (2014):

- Desoneração de encargos setoriais;
- Antecipação de renovações de concessões anteriores a Lei nº 8.987/1995;
- Aporte de R\$ 3,3 bilhões anuais pela União à Conta do Desenvolvimento Energético (CDE).

Entre as medidas, destaca-se a antecipação da renovação das concessões que possibilitaria reduzir o custo da tarifa, pois muitos investimentos já se encontravam amortizados e tal custo seria retirado da tarifa de energia elétrica. As concessionárias que aceitassem a renovação teriam o prazo de concessão renovado por até 30 anos.

Segundo Costellini e Hollanda (2014), haveria uma redistribuição das cotas de energia correspondentes à parcela de energia das concessionárias de geração que aderissem às condições da Medida Provisória nº 579. Essa energia representava 34% da energia contratada pelas distribuidoras no Ambiente de Contratação Regulado (ACR). Com a renovação, esses contratos seriam encerrados e contratados novamente pelas distribuidoras em regime de cotas proporcionais ao seu mercado no Sistema Integrado Nacional (SIN). Essa recontração a tarifas mais baixas permitiria que o consumidor se beneficiasse da diferença de tarifas entre os contratos antigos e novos.

No entanto, nem todas as concessionárias de geração aderiram a Medida Provisória nº 579 resultando em dois efeitos:

- Descontratação das distribuidoras de energia elétrica;
- Desembolso adicional de R\$ 5,1 bilhões para compensar a não adesão e garantir a redução da tarifa.

O setor elétrico brasileiro se encontrou em um dos seus períodos mais críticos, com perdas financeiras e problemas graves em todos os segmentos. Os principais fatos que levaram a crise do setor estão: a descontração das distribuidoras e problemas de geração.

A descontração das distribuidoras foi devido ao cancelamento do leilão de renovação de contratos de energia que terminavam em 2012. Assim, as distribuidoras tiveram que comprar a diferença entre o consumo e os montantes contratados em 2013 e 2014 no mercado de curto prazo, que estavam elevados no período e resultaram em aumentos tarifários.

Já os problemas de geração se devem a uma combinação de restrições operativas e fatores de eficiência reduzidos. Desde 2010, foram verificados esvaziamentos dos reservatórios e o acionamento contínuo de termelétricas desde 2012. A seca de 2014 agravou ainda mais um problema que era estrutural e que por fim também resultou em aumentos tarifários para o consumidor final.

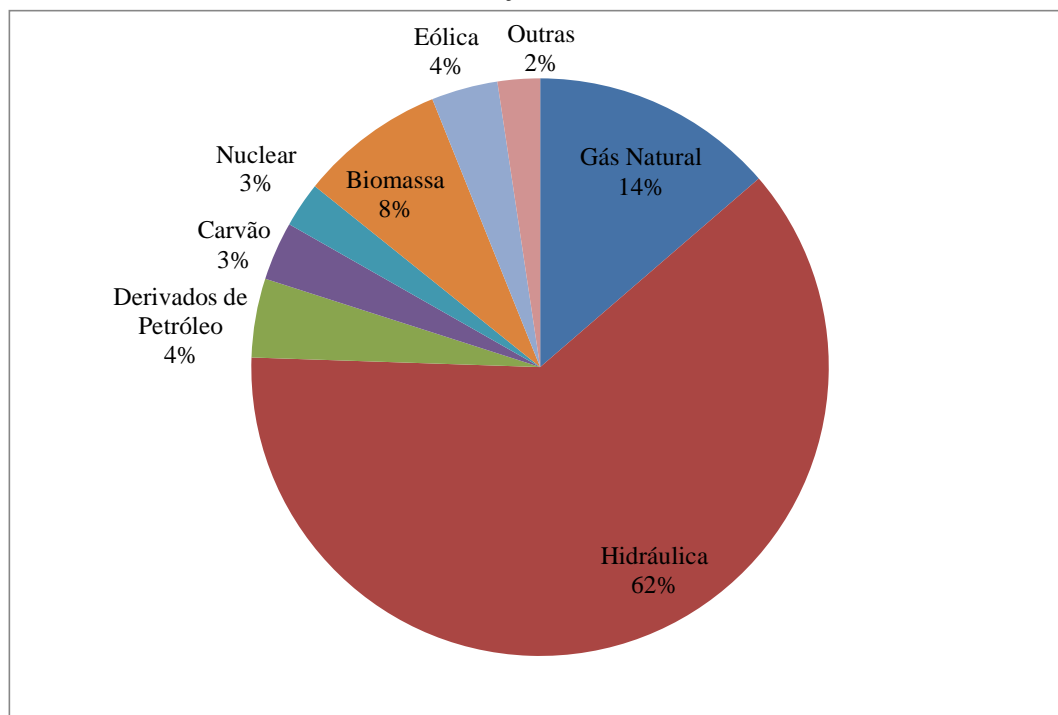
3 VISÃO GERAL DO SETOR ELÉTRICO

3.1 SEGMENTOS DO SETOR ELÉTRICO

O setor elétrico está dividido em quatro segmentos: geração, transmissão, distribuição e comercialização.

A geração de energia é efetuada por fontes hidrelétrica, gás natural, biomassa, eólica, derivados de petróleo, carvão, nuclear, sendo no Brasil predominantemente hidrelétrica, no gráfico 1 abaixo, pode-se verificar os percentuais de geração por fonte no ano de 2015.

GRÁFICO 1 – GERAÇÃO POR FONTE (%) - BRASIL - 2015



FONTE: Adaptada de Empresa de Pesquisa Energética (EPE) - Anuário Estatístico de Energia Elétrica - 2016.

O segmento de transmissão é composto por linhas de transmissão e subestações⁴, sendo sua função principal realizar o transporte da energia produzida até as distribuidoras de energia ou consumidores livres.

O segmento de distribuição de energia elétrica tem a função de entregar energia aos consumidores do mercado cativo. As empresas deste segmento atuam em uma estrutura de monopólio natural em concessões regionais.

O último segmento é o de comercialização e tem a função de adquirir energia elétrica de empresas geradoras e vender para empresas do mercado livre.

Os segmentos de geração, transmissão e distribuição no Brasil estão conectados por intermédio do Sistema Interligado Nacional (SIN), o qual é coordenado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

3.2 AGENTES DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA

A principal instância de poder no setor elétrico nacional é o Ministério de Minas e Energia (MME), para Ozorio (2015) o MME tem a função de elaborar a política energética, definir diretrizes e a regulamentação mais geral do setor elétrico, atuando como poder concedente em nome do governo federal.

A partir de 2004 o MME também assumiu funções que eram da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), como a definição de diretrizes para outorgas de concessões e a determinação de normas para processos licitatórios. A ANEEL passou a ser responsável pela regulação e fiscalização do setor elétrico. Além destas atribuições a ANEEL ficou responsável pela determinação das tarifas de energia elétrica, elaboração de processos licitatórios para novas concessões, entre outras.

Como mencionado anteriormente, o SIN é coordenado pelo ONS, que além de coordenar, também controla as operações de geração e transmissão de energia elétrica. Outra função do ONS é o planejamento da operação de geração e transmissão de energia elétrica.

Também em 2004 foi criada a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), com a função de planejamento do setor elétrico brasileiro e assim evitar desequilíbrios entre oferta e demanda de energia elétrica.

⁴Conforme definição da Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE), as linhas de transmissão são basicamente constituídas por fios condutores metálicos suspensos em torres e se estendem por longas distâncias, conectando as usinas geradoras aos grandes consumidores ou às empresas distribuidoras de energia. As subestações de transmissão são aquelas localizadas nos pontos de conexão com geradores, consumidores e empresas distribuidoras.

Entre os principais agentes do setor está a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), que tem a função de viabilizar a comercialização de energia elétrica e registrar os contratos de comercialização no ambiente de contratação regulado e livre. A CCEE também é responsável pelo cálculo do preço de energia de curto prazo, o preço de liquidação das diferenças (PLD), pelo qual são liquidadas as diferenças entre energia contratada e gerada.

3.3 CONSUMO DE ENERGIA POR CLASSE

Os consumidores de energia são classificados primeiramente em dois grandes grupos: livres e cativos. Os consumidores cativos podem ser residenciais, comerciais ou industriais e compram a energia elétrica exclusivamente da distribuidora local, mediante tarifa regulada. Os consumidores livres são os grandes consumidores industriais ou comerciais, este tipo de consumidor pode optar por continuar a ser atendido pela distribuidora local ou comprar a energia elétrica diretamente de um produtor independente, autoprodutores, ou por intermédio de uma comercializadora.

Os consumidores de energia elétrica estão segmentados por classes, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em suas publicações segmenta as classes em residencial, industrial, comercial e outros (rural, serviço público e iluminação pública) e é desta forma que será analisado neste trabalho, além da análise com os dados agregados.

O consumo da classe residencial no ano de 2015 teve uma participação da ordem de 28% no consumo total de energia elétrica, evoluiu a uma taxa de crescimento médio de 3,7% a.a. no período de 1995 a 2015.

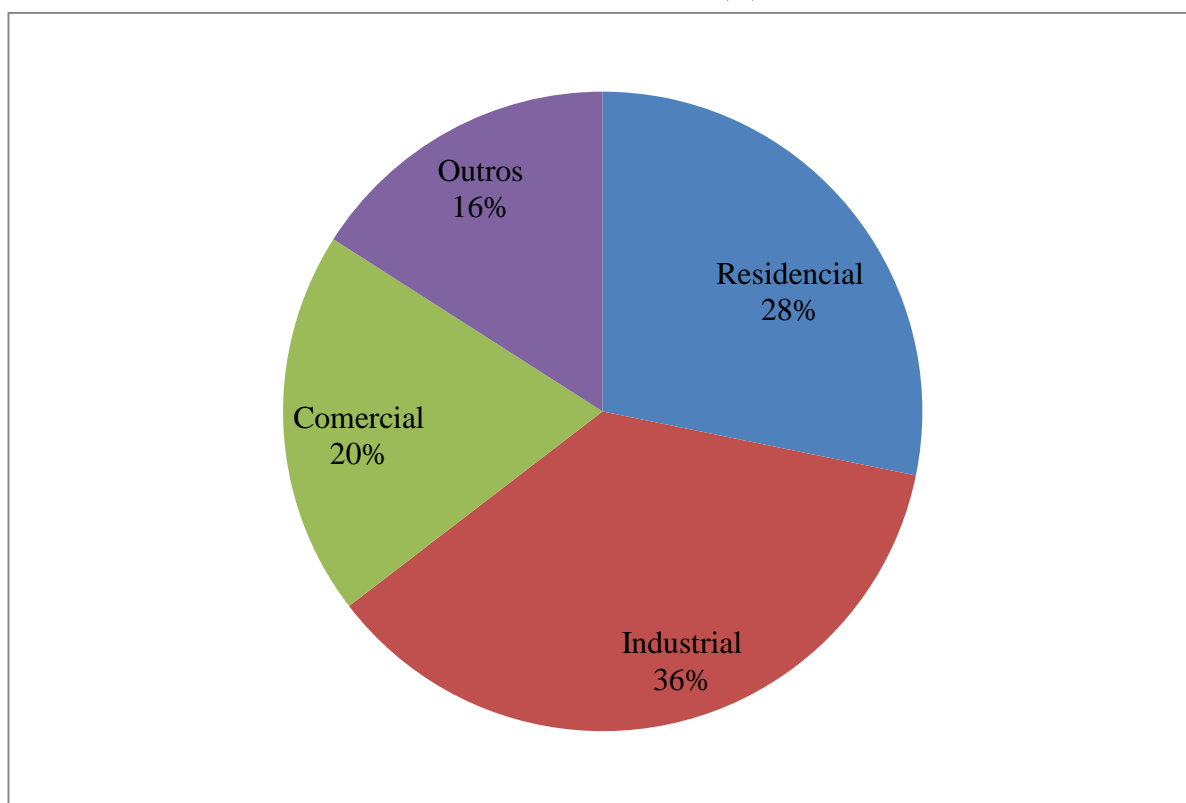
O consumo da classe industrial, respondeu, em 2015, por cerca de 36% no consumo total de energia elétrica. A taxa de crescimento médio no período de 1995 a 2015 foi de 2,1% a.a..

O consumo da classe comercial, com uma participação de 20% no consumo total de energia elétrica, evoluiu a uma taxa de crescimento médio de 5,3% a.a. no período de 1995 a 2015.

Por último, o consumo da classe outros, teve uma participação de 16% em 2015 e uma taxa de crescimento médio de 3,6% a.a. entre 1995 e 2015.

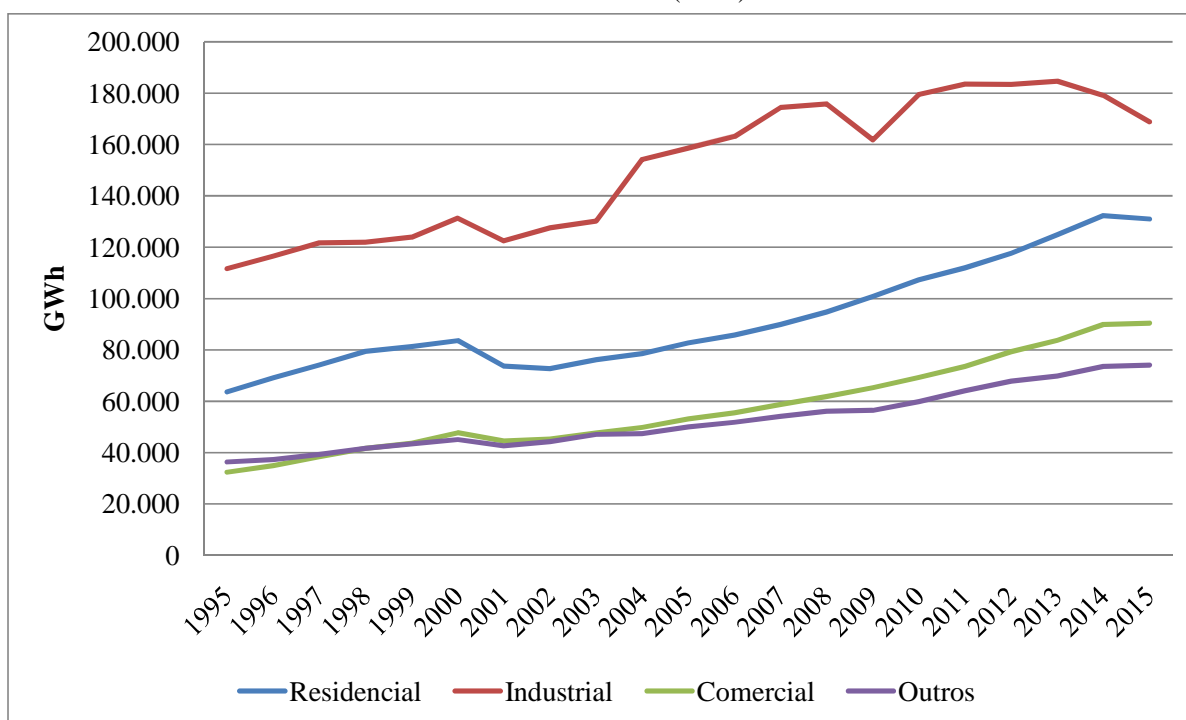
Nos gráfico 2 pode-se observar a participação por classe no consumo total. No gráfico 3 é possível observar a evolução no consumo no período de 1995 a 2015.

GRÁFICO 2 – CONSUMO POR CLASSE (%) - BRASIL - 2015



FONTE: Adaptada de Banco Central do Brasil - Sistema Gerenciador de Séries Temporais (SGS).

GRÁFICO 3 – CONSUMO POR CLASSE (GWh) - BRASIL - 1995-2015



FONTE: Adaptada de Banco Central do Brasil - Sistema Gerenciador de Séries Temporais (SGS).

3.4 O PLANEJAMENTO DO SETOR ELÉTRICO

Segundo Goldemberg e Lucon (2007) o aumento da produção de energia tem acompanhado de perto o crescimento econômico, demonstrando a importância da garantia e segurança do suprimento de energia, de modo que este insumo não seja um entrave para a melhoria do padrão de vida da população.

O setor elétrico em particular tem uma complexidade pelo fato do produto final não poder ser estocado, o que exige uma coordenação de toda cadeia produtora, com o objetivo de garantir o equilíbrio entre oferta e demanda de energia elétrica.

O planejamento do setor elétrico em países emergentes tem um papel ainda mais importante, pois nestes países são necessários expressivos investimentos na capacidade de geração para atender o crescimento da demanda, determinado pela dinâmica econômica (Castro, 2012).

O setor elétrico na década de 1990 perdeu um pouco o planejamento, transferindo esta responsabilidade para o setor privado, conforme destacado por Tolmasquim (2011), o modelo liberal implementado nos anos 1990 não previa o planejamento de longo prazo coordenado de forma centralizada, pois era de responsabilidade individual das empresas distribuidoras contratarem das empresas geradoras sem prazo de contratação definido. Ainda, segundo Borges e Castro (2006), a não necessidade de gerar contratos com empresas geradoras inviabilizava novos investimentos, e assim não ocorria à expansão da oferta, em função principalmente da falta de previsão da receita para pagamento do serviço das dívidas.

O setor elétrico brasileiro só retomou o planejamento em 2004, com a nova Lei do Setor Elétrico e a criação da EPE. Entre os trabalhos da EPE, destaca-se o Plano Nacional de Energia (PNE), que formula projeção de demanda de energia para o longo prazo e estabelece parâmetros para o atendimento desta demanda. A EPE também elabora o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), onde são definidas as prioridades para expansão física do sistema energético brasileiro. Para o setor específico de energia elétrica, o PDE estabelece os projetos de geração e transmissão que deverão ser implementados nos próximos 10 anos para atender a demanda, sendo importante instrumento de planejamento do setor elétrico brasileiro.

3.5 LEILÕES DE CONTRATAÇÃO DE ENERGIA

Os leilões são um dos principais instrumentos para garantir a expansão da capacidade de geração, pois por meio deles é que ocorre a contratação de energia elétrica para demanda

futura das distribuidoras, com antecedência de 3 e 5 anos, nos leilões A-3 e A-5 respectivamente. É também por meio dos leilões que ocorre a concessão de novas usinas.

As distribuidoras devem garantir 100% do seu mercado (demanda) em contratos no Ambiente de Contratação Regulado (ACR), os quais são definidos com base na projeção da demanda.

Os leilões servem também para garantir a modicidade tarifária, uma vez que os vencedores dos leilões são os que dão lance de menor valor no preço do megawatt hora (MWh). Normalmente o prazo de contratação é de 20 ou 30 anos.

Outra informação importante sobre os leilões é que estão em duas categorias, os leilões de energia nova e energia existente. Os leilões de energia nova com prazo de implantação de 3 e 5 anos e os leilões de energia existente que são realizados com o objetivo de contratar energia de usinas já construídas, e ocorrem à medida que os contratos vigentes com as distribuidoras forem vencendo.

Além destas duas categorias, existem os leilões de energia de reserva, que tem o objetivo de dar segurança ao sistema elétrico brasileiro, dado o risco hidrológico da matriz elétrica brasileira.

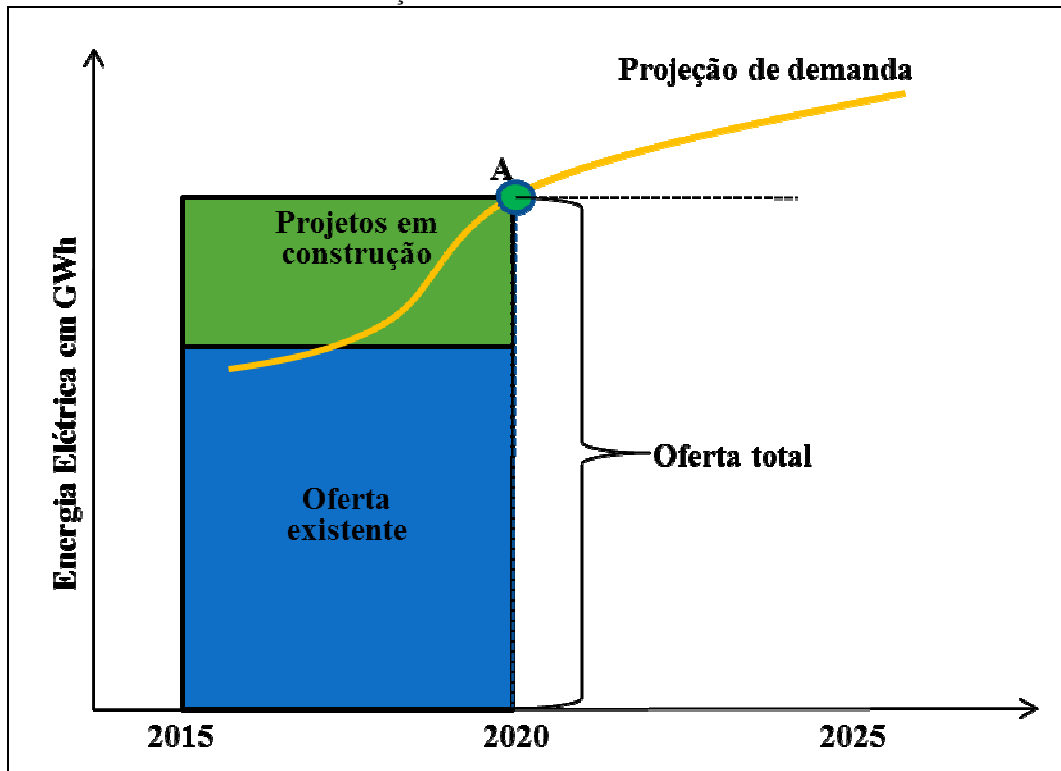
Como se pode observar, os leilões são de suma importância para a expansão da geração, e assim manter o equilíbrio entre oferta e demanda, reduzindo o risco de racionamento.

3.6 PLANEJAMENTO DAS EMPRESAS DO SEGMENTO DE GERAÇÃO

A importância do planejamento para as empresas do setor de energia elétrica está relacionada à sua expansão por meio novos investimentos. Neste contexto, a previsão da demanda de energia elétrica ganha importância direta para empresas que atuam no segmento de geração, pois a previsão da demanda pode ser utilizada para se estimar quando a oferta de energia elétrica existente, somada a energia elétrica de projetos em construção serão insuficientes para atender a demanda. Esta informação é relevante pois pode subsidiar a elaboração do plano de expansão das empresas e também as estratégias de participação em leilões. Abaixo, no gráfico 4 é demonstrado um exemplo, onde a demanda torna-se igual a oferta total no ponto A, e a partir deste ponto, é possível verificar a quantidade de energia elétrica necessária para atender a demanda, sendo esta necessidade a energia elétrica que o Governo contratará por meio dos leilões. Como se pode observar, a partir do ponto A é possível saber a quantidade de energia a contratar ao longo do tempo, e com base nesta

informação pode-se dimensionar um plano de expansão para empresa, além de possibilitara elaboração de estratégias de participação nos leilões, ou seja, auxilia na tomada de decisão.

GRÁFICO 4 – PROJEÇÃO DE OFERTA E DEMANDA DE ENERGIA



FONTE: O autor (2017).

4 REVISÃO DE LITERATURA

Outros estudos sobre demanda de energia elétrica já foram realizados para o Brasil, o que torna este trabalho uma atualização para um período de análise mais recente e uma nova forma de aplicação dos resultados obtidos, conforme demonstrado em 3.6.

Modiano (1984) analisou a evolução do consumo de energia elétrica para o Brasil por classe de consumo, para o período de 1963 a 1981, com a utilização de dados anuais. As variáveis explicativas foram a renda real, a tarifa média real por classe de consumo. As estimativas foram obtidas pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), as elasticidades preço de curto prazo calculado para as classes residencial, industrial, comercial e outros são: -0,118; -0,451; -0,062; -0,039 e de longo prazo são -0,457; -0,001; -0,225 e -0,423. As elasticidades renda de curto prazo calculado para as classes residencial, industrial, comercial e outros são: 0,332; 0,502; 0,362; 0,260 e de longo prazo são 1,116; 1,665; 1,147; 1,243.

Schmidt e Lima (2004) com o objetivo estimar a elasticidade preço e renda de demanda por energia elétrica no Brasil nas três classes de consumo: residencial, comercial e industrial, além de fazer previsões de consumo para cinco anos. A metodologia utilizada para estimação do modelo foi Vetor Auto Regressivo (VAR) e Vetor de Correção de Erros (VCE) com dados anuais, onde primeiro foi verificado se as variáveis eram cointegradas pelo método de Johansen. As variáveis explicativas para classe residencial foram rendimento médio real assalariado, tarifa real e índice de preços de bens de consumo duráveis. Para a classe industrial foi utilizado produto interno bruto, a tarifa real da classe industrial, o índice de preços de combustíveis e lubrificantes como *proxy* do preço de bens substitutos e o índice de preços de máquinas e equipamentos. Já para classe comercial as variáveis explicativas foram produto interno bruto, tarifa real e índice de preços de materiais elétricos. Os valores estimados para as classes residencial, industrial e comercial da elasticidade preço são -0,085, -0,129 e -0,174. Já para elasticidade renda são 0,539, 1,718 e 0,636 respectivamente.

No trabalho de Leite (2006), com o objetivo de contribuir para o planejamento do setor elétrico brasileiro, estimou a demanda de energia elétrica para o Brasil no período de 2006-2015, a partir de dados anuais do período de 1966 a 2005. Um diferencial deste trabalho é que como foram utilizados dados agregados, também foi incorporada a classe "Outros" que não foi considerada na maior parte dos trabalhos de referência. As variáveis explicativas foram a tarifa real e o produto interno bruto. A metodologia utilizada foi o Vetor Auto Regressivo (VAR) e Vetor de Correção de Erros (VCE) além desde método foram realizadas previsões de demanda de energia elétrica com um modelo Auto Regressivo Integrado de Média Móvel (ARIMA). As elasticidades renda e preço calculadas foram 1,18 e -0,90 respectivamente. Neste trabalho também foram realizadas previsões de demanda para o período de 2006 a 2015 e comparados com valores estimados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Andrade e Lobão (1997) analisaram a evolução da demanda de energia elétrica para o caso residencial no Brasil, no período de 1963 a 1995, a partir de dados anuais. As variáveis explicativas utilizadas foram tarifa real média, renda familiar real e estoque de eletrodomésticos. Os modelos foram estimados pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), Mínimos Quadrados Instrumentais (MQI), Vetor Auto Regressivo (VAR) e Vetor de Correção de Erros (VCE). A conclusão foi de que a elasticidade renda é 0,2132 e a elasticidade preço é -0,05084.

Além dos estudos realizados para o Brasil, outros autores abordaram o tema no âmbito regional e estadual. Siqueira, Júnior e Castelar (2006) estimaram o comportamento do

consumo no nordeste no período de 1970 e 2003 com dados anuais para as classes residencial, industrial e comercial. A estimação do modelo foi realizada pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), Mínimos Quadrados em Dois Estágios (MQ2E), com as metodologias de Vetor Auto Regressivo (VAR) e Vetor de Correção de Erros (VCE). As variáveis explicativas utilizadas para classe residencial foram tarifa real média da classe residencial, renda per capita do nordeste e preço de eletrodomésticos. Na classe industrial as variáveis explicativas utilizadas foram a tarifa real média da classe industrial, o preço de máquinas e equipamentos elétricos da indústria, a renda do setor industrial do nordeste e o preço de bens substitutos. A classe comercial utilizou como variável explicativa a tarifa real média da classe comercial, o preço de equipamentos elétricos do setor comercial e a renda do setor comercial do nordeste. Um diferencial para este estudo é inclusão da variável *Dummy* para os períodos de racionamento em 2001 e 2002. No modelo de cointegração, às elasticidades renda, tarifa e preço dos eletrodomésticos para o caso residencial são 1,400, -0,412 e -0,672, e no setor industrial 1,181, -0,982, -0,471 e 0,174 para os preços dos substitutos. Para o setor comercial as elasticidades renda e preço são 1,022 e -0,502.

Outro trabalho também para região nordeste foi elaborado por Irffi *et al.* (2009), onde aplicando os métodos dos Mínimos Quadrados Dinâmico (MQD) e Mudança de Regime (MR) estimou o modelo para as classes residencial, industrial e comercial, o período analisado foi de 1970 a 2003 com dados anuais. As variáveis explicativas utilizadas para classe residencial foram tarifa real média da classe residencial, renda per capita do nordeste e preço de eletrodomésticos. Na classe industrial as variáveis explicativas utilizadas foram a tarifa real média da classe industrial, o preço de máquinas e equipamentos elétricos da indústria, a renda do setor industrial do nordeste e o preço de bens substitutos. A classe comercial utilizou como variável explicativa a tarifa real média da classe comercial, o preço de equipamentos elétricos do setor comercial e a renda do setor comercial do nordeste. As elasticidades renda, tarifa e preço dos eletrodomésticos obtidas para classe residencial são respectivamente: 0,6840; -0,6872; -0,8393 (MQD) e 0,8767; -0,5043; -0,7049 (MR). Para classe industrial as elasticidades renda, tarifa, preço dos equipamentos e preço dos bens substitutos foram 1,2071; -3,7064; 0,9650; 0,5079 (MQD) e 1,2040; -1,0708; -0,5818; 0,5656 (MR) e para classe comercial as elasticidades renda, tarifa foram 1,1028; -0,9752 (MQD) e 1,4288; -1,2017 e 0,5151 para os preços de equipamentos elétricos (MR).

Mattos e Lima (2005) estudaram a demanda de energia elétrica residencial no estado de Minas Gerais para o período de 1970-2002 com dados anuais. O modelo foi estimado pelo método Vetor de Correção de Erros (VCE). As variáveis explicativas utilizadas foram a tarifa

média real da classe residencial, a renda per capita de Minas Gerais e o preço dos eletrodomésticos. As elasticidades obtidas para renda, tarifa e preço dos eletrodomésticos foram 0,532, -0,258 e -0,146. Neste trabalho também foi incorporada a variável *Dummy* para o período de racionamento.

5 METODOLOGIA

O objetivo desta seção é demonstrar a forma que o problema é analisado, apresenta-se e discute-se o modelo econométrico e seus respectivos testes.

5.1 MODELO ECONOMÉTRICO

Neste estudo, a metodologia utilizada para estimação do modelo foi o Vetor Auto Regressivo (VAR) sob a representação do Vetor de Correção de Erros (VCE)⁵. A função de demanda é do tipo Cobb-Douglas expressa em logaritmo neperiano, cuja a abordagem é muito similar aos estudos da revisão de literatura da seção 4, conforme tabela 1 a seguir:

TABELA 1 – MODELO ECONOMÉTRICO E REFERENCIAL EMPÍRICO

Classe	Modelo	Variáveis em logaritmos	Proxy	Referencial Teórico
Residencial	$LNCr_t = \beta_0 + \beta_1 LNYr_t + \beta_2 LNTr_t$	Demanda $LNCr_t$	Consumo de energia elétrica da classe residencial em GWh	SCHMIDT e LIMA (2004) e ANDRADE E LOBÃO (1997)
		Renda $LNYr_t$	Produto interno bruto per capita	
		Preço $LNTr_t$	Tarifa da classe residencial em R\$/MWh	

⁵A estimação do modelo econométrico pelo Vetor Auto Regressivo (VAR) e Vetor de Correção de Erros (VCE) foi utilizada também por Andrade e Lobão (1997), Schmidt e Lima (2004), Leite (2006), Siqueira, Júnior e Castelar (2006) e Mattos e Lima (2006).

Industrial	$LNC_i = \beta_0 + \beta_1 LNY_i + \beta_2 LNT_i$	Demanda LNC_i	Consumo de energia elétrica da classe industrial em GWh	IRFFI <i>et al</i> (2009)
		Renda* LNY_i	Produto interno bruto industrial	
		Preço LNT_i	Tarifa da classe industrial em R\$/MWh	
Comercial	$LNC_c = \beta_0 + \beta_1 LNY_c + \beta_2 LNT_c$	Demanda LNC_c	Consumo de energia elétrica da classe comercial em GWh	IRFFI <i>et al</i> (2009)
		Renda* LNY_c	Produto interno bruto de serviços	
		Preço LNT_c	Tarifa da classe comercial em R\$/MWh	
Dados Agregados	$LNC = \beta_0 + \beta_1 LNY + \beta_2 LNT$	Demanda LNC	Consumo de energia elétrica em GWh	LEITE (2006)
		Renda* LNY	Produto interno bruto	
		Preço LNT	Tarifa em R\$/MWh	

FONTE: O autor (2017).

NOTA: *Para as classes industrial, comercial e dados agregados a variável renda representa o nível de atividade econômica.

De acordo com a revisão de literatura, os sinais esperados são: $\beta_1 > 0$ (aumento da renda aumenta o consumo), $\beta_2 < 0$ (aumento do preço diminui o consumo) e $\beta_3 < 0$ (queda no consumo nos anos de racionamento).

As estimativas serão realizadas de duas formas, sendo a primeira o somatório das estimativas por classe e a segunda com única estimativa dos dados agregados, pois incorpora as classes Residencial, Comercial, Industrial e Outros.

Para a classe Outros que não foi considerada na maior parte dos trabalhos de referência, será considerado para fins de estimativa o percentual médio que o consumo desta classe representa no consumo total. No período de 1995 a 2015 o percentual médio da classe

Outros foi de 14,86% do consumo total, com um coeficiente de variação de 3,09%, demonstrando que o percentual médio de consumo tem pouca variação.

5.2 SÉRIES TEMPORAIS, COINTEGRAÇÃO E O MODELO DE CORREÇÃO DE ERROS

Ao analisar a relação entre variáveis em momentos sucessivos do tempo, realiza-se um estudo com séries temporais. Mais especificadamente, toda variável apresenta um comportamento ao longo do tempo e pode ser pensado como um processo estocástico ou aleatório. Um processo estocástico que vem sendo motivo de grande atenção por parte dos analistas de séries temporais é o chamado processo estocástico estacionário.

Nos estudos de Granger e Newbold⁶ (1974 *apud* MATOS, 2000) foi demonstrado que modelos estimados com base em séries de tempo podem apresentar resultados espúrios ou sem sentido, isto é, sem significado do ponto de vista econômico. As estimativas das estatísticas t , F , R^2 são elevados e da estatística de Durbin-Watson baixos, indicando autocorrelação serial. A validade de tais estatísticas somente se verificará se as séries forem estacionárias.

Dessa maneira, conforme Gujarati e Porter (2011), um processo estocástico é estacionário se suas médias e variância forem constantes ao longo do tempo e o valor da covariância entre os dois períodos de tempo depender apenas da distância ou defasagem entre os dois períodos, e não do período de tempo efetivo em que a covariância é calculada.

Assim, uma série temporal possui as seguintes características:

$$\text{Média: } E(Y_t) = \mu \quad (3)$$

$$\text{Variância: } \text{var}(Y_t) = E(Y_t - \mu)^2 = \sigma^2 \quad (4)$$

$$\text{Covariância: } \gamma_k = E[(Y_t - \mu) \cdot (Y_{t+k} - \mu)] \quad (5)$$

em que γ_k , a covariância na defasagem k , é a covariância entre os valores de Y_t e Y_{t+k} , ou seja, entre os dois valores de Y separados por k períodos.

⁶ GRANGER, C.; NEWBOLD, P. *Spurious regressions in econometrics*, *Journal of Econometrics*, 1974. v. 2, p. 111-120.

5.2.1 Teste de estacionariedade

Para identificar se uma série temporal é estacionária pode-se utilizar o teste de raiz unitária. O meio mais fácil de apresentar este teste é considerar o seguinte modelo:

$$Y_t = Y_{t-1} + u_t \quad (6)$$

em que u_t é o termo estocástico que segue as hipóteses clássicas, a saber, ele tem média zero, variância constante e é não autocorrelacionado. Este termo de erro é conhecido também como termo de erro de ruído branco. A equação (6) é uma regressão de primeira ordem, ou auto regressivo - AR(1), já que regride-se o valor de Y no instante t sobre o seu valor no instante $(t-1)$. Agora, se o coeficiente de Y_{t-1} for de fato igual a 1, defrontamo-nos com o que é conhecido como o problema de raiz unitária, isto é, uma situação de não estacionariedade. Conforme Gujarati e Porter (2011), ao se estimar a equação:

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + u_t \quad (7)$$

e se de fato verificar que $\rho = 1$, diz-se então que a variável estocástica Y tem uma raiz unitária.

A equação (7) é frequentemente expressa em uma forma alternativa como

$$\begin{aligned} \Delta Y_t &= (\rho - 1)Y_{t-1} + u_t \\ &= \delta Y_{t-1} + u_t \end{aligned} \quad (8)$$

em que $\delta = (\rho - 1)$, e Δ é o operador de primeiras diferenças. Fazendo uso dessa definição, pode-se notar que (7) e (8) são iguais. Porém agora a hipótese nula é $\delta = 0$.

Se δ for de fato 0, pode-se escrever (8) como:

$$\Delta Y_t = (Y_t - Y_{t-1}) = u_t \quad (9)$$

O que a equação (9) nos diz é que as primeiras diferenças de uma série temporal com caminho aleatório são uma série temporal estacionária, pois por hipótese, u_t é puramente aleatório.

Agora, se uma série temporal for diferenciada uma vez e a série diferenciada for estacionária, a série original é chamada de integrada de ordem 1, indicada por $I(1)$. Em geral, se uma série temporal tiver de ser diferenciada d vezes, ela é integrada de ordem d , ou $I(d)$.

5.2.1.1 Teste aumentado de Dickey-Fuller

Segundo Gujarati e Porter (2011) para verificar se uma série temporal é não estacionária, sob a hipótese nula $\rho = 1$, a estatística t calculada de modo convencional é conhecida como estatística τ (*tau*), cujos valores críticos foram tabulados por Dickey e Fuller (1976 e 1981). Na literatura especializada, o teste tau é conhecido como teste de Dickey-Fuller (DF), em homenagem aos seus descobridores.

Se o valor absoluto calculado da estatística τ (isto é, $|\tau|$) exceder os valores críticos absolutos de τ , então não rejeitamos a hipótese de que a série temporal seja estacionária. Se, por outro lado, ele for menor que o valor crítico, a série temporal é não estacionária.

O teste de Dickey-Fuller é aplicado a regressões rodadas nas seguintes formas:

$$\Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + u_t \quad (10)$$

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \delta Y_{t-1} + u_t \quad (11)$$

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Y_{t-1} + u_t \quad (12)$$

em que t é a variável tempo ou tendência. Em cada caso, a hipótese nula é a de que $\delta = 0$, ou seja, há uma raiz unitária. A diferença entre (10) e as duas regressões reside na inclusão da constante e do termo de tendência. Em cada caso, as hipóteses são:

Hipótese Nula H_0 : $\delta = 0$ (há uma raiz unitária ou a série temporal é não estacionária, ou ela possui uma tendência estocástica).

Hipótese Alternativa H_1 : $\delta < 0$ (a série temporal é estacionária, possivelmente em torno de uma tendência determinística).

Se o termo de erro u_t é autocorrelacionado, pode-se modificar (12) como segue:

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^m \alpha_i \Delta Y_{t-i} + u_t \quad (13)$$

em que u_t é o termo erro e $\Delta Y_{t-1} = (Y_{t-1} - Y_{t-2})$, $\Delta Y_{t-2} = (Y_{t-2} - Y_{t-3})$ etc. O número de termos de diferenças defasados a incluir é muitas vezes determinado empiricamente. Quando o teste de

Dickey-Fuller é aplicado a modelos com defasagens, é chamado de teste aumentado de Dickey-Fuller (ADF).

5.2.1.2 Teste KPSS

Um dos problemas do teste de Dickey-Fuller é seu baixo poder, isso significa que o teste não consegue rejeitar a hipótese nula para muitas séries econômicas. Neste contexto, foi desenvolvido o teste KPSS (em homenagem aos autores Kwiatkowski, Phillips, Schmidt e Shin), que incorpora a variância de longo prazo, melhorando o poder do teste. Neste teste, ao contrário do teste de Dickey-Fuller, a hipótese nula é de estacionariedade da série, conforme cita Bueno (2011): $H_0: y_t \sim I(0)$ contra $H_1: y_t \sim I(1)$. O objetivo dos autores é usar o teste complementando outros testes de raiz unitária e assim, distinguir a raiz unitária de séries cujos dados não são suficientemente conclusivos.

5.2.2 Cointegração

Os testes de estacionariedade referem-se ao comportamento individual da série, sem levar em consideração as possíveis influências que sua trajetória possa sofrer devido às trajetórias de outras séries temporais. Para analisar essas possíveis relações entre as séries distintas, Enders⁷ (1995 *apud* OLIVEIRA, 2002) explicita um conceito atribuído a Engle e Granger de "equilíbrio de longo prazo". Esse conceito significa que as séries temporais que possuem um equilíbrio de longo prazo. A condição para que essas séries temporais apresentem esse equilíbrio é de que exista uma combinação linear entre elas na qual resulte o seguinte:

$$b_1y_{1t} + b_2y_{2t} + \dots + b_ny_{nt} = 0 \quad (14)$$

Essa condição estabelece que existem relações mútuas entre as trajetórias das séries temporais consideradas acima. É importante ficar claro que essas relações mútuas não significam, necessariamente, relações de causalidade. O equilíbrio de longo prazo apenas indica que as séries possuem trajetórias comuns ao longo do tempo. No entanto, esse conceito não poderia deixar de incorporar a possibilidade de que exista um componente aleatório na

⁷ ENDERS, W. *Applied econometric time series*, 1995, New York.

determinação da trajetória das séries. A presença de um componente aleatório pode reforçar ou minimizar a influência das outras variáveis na trajetória de uma série temporal. A questão importante a ser ressaltada é que a condição (14) é necessária e suficiente para garantir um equilíbrio de longo prazo desde que esse componente aleatório seja estacionário com média zero. Assim, as variáveis continuam apresentando um equilíbrio de longo prazo mesmo se a combinação linear entre elas resultar em uma variável estritamente aleatória:

$$b_1y_{1t} + b_2y_{2t} + \dots + b_ny_{nt} = u_t \quad (15)$$

Essa combinação entre as variáveis significa que além delas apresentarem um equilíbrio de longo prazo, também existe um componente aleatório que representa o desvio que as variáveis possuem em relação ao seu "caminho de equilíbrio", ou seja, as trajetórias não são determinadas única e exclusivamente pelas influências mútuas exercidas umas sobre as outras. O componente u_t é denominado "erro de equilíbrio" Enders (1995 *apud* OLIVEIRA, 2002). Por hipótese, o erro de equilíbrio é uma variável estacionária.

É importante ressaltar que esse "equilíbrio de longo prazo" não significa que as variáveis tenderão a um valor constante quando o tempo tender ao infinito, ou que o comportamento das variáveis oscila em torno de uma média. Variáveis não estacionárias, que não tendem a um valor constante no longo prazo e também não oscilam em torno de uma média, podem estar em equilíbrio de longo prazo desde que possuam tendências comuns, ou seja, tenham um "caminho comum" ao longo do tempo. Segundo Enders (1995 *apud* OLIVEIRA, 2002), é importante ficar claro que o conceito de "equilíbrio de longo prazo" postulado por Engle e Granger (1987) não significa que necessariamente as variáveis possuem uma trajetória de equilíbrio determinada pela teoria econômica.

O teste de cointegração fundamenta-se na idéia de ordem de cointegração. Com efeito, note-se, se duas ou mais séries se movem ao longo do tempo de forma sincronizada, seus movimentos têm o mesmo comprimento. Elas são, portanto, cointegradas com a mesma ordem, isto é, são $I(d)$, onde d é a ordem de integração. Se essas séries seguem uma tendência estocástica e individualmente são não estacionárias, uma combinação linear delas é em geral estacionária, porque a tendência comum é removida. Em outras palavras, duas ou mais séries cointegram se uma combinação formada por elas for integrada de ordem zero, isto é, $I(0)$.

5.2.2.1 Teste de Johansen

Para detectar se há relacionamento de longo prazo entre séries temporais, ou seja, se as séries são cointegradas, optou-se por utilizar o método de Johansen, que conforme Lütkepohl⁸ (2007 *apud* SANTOS *et al.*, 2010) pode-se utilizar dois testes específicos, o teste do traço e o teste de máximo autovalor. As hipóteses para o teste do traço com 3 variáveis são:

TABELA 2 – HIPÓTESES TESTE DO TRAÇO

	Hipótese Nula H_0 :	Hipótese Alternativa H_1 :
Nenhum	$r^* = 0$	$r > 0$
1 vetor	$r^* \leq 1$	$r > 1$
2 vetores	$r^* \leq 2$	$r > 2$

FONTE: Adaptada de Santos (2010).

Neste teste a hipótese nula é de existência de r^* vetores de cointegração contra a hipótese alternativa de $r > r^*$ vetores.

Para teste de máximo autovalor para 3 variáveis as hipóteses são:

TABELA 3 – HIPÓTESES TESTE DE MÁXIMO AUTOVALOR

	Hipótese Nula H_0 :	Hipótese Alternativa H_1 :
Nenhum	$r = 0$	$r = 1$
1 vetor	$r = 1$	$r = 2$
2 vetores	$r = 2$	$r = 3$

FONTE: Adaptada de Santos (2010).

Aqui a hipótese nula é de existência de r vetores de cointegração contra a hipótese alternativa de $r + 1$ vetores.

5.2.3 Vetores auto regressivos (VAR) e o modelo vetorial de correção de erros (VCE)

De acordo com Sims⁹ (1980 *apud* GUJARATI e PORTER, 2011) nos modelos de equações simultâneas algumas variáveis são tratadas como endógenas e outras como exógenas, antes dos modelos serem estimados, e se há uma simultaneidade verdadeira entre um conjunto de variáveis, todas elas devem ser tratadas em pé de igualdade, não deveria haver qualquer distinção a priori entre as variáveis endógenas e exógenas. Assim, Sims propôs uma

⁸ LÜTKEPOHL, H. *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*. 2. ed. New York: Springer, 2007.

⁹ SIMS, C. A. *Macroeconomics and reality*. *Econometrica*, 1980. v. 48, p. 1-48.

abordagem alternativa, que além de conseguir tratar várias séries no modelo, mensuraria o impacto de choques sobre as variáveis contidas no sistema, a partir desta premissa Sims desenvolveu seu modelo Vetor Auto Regressivo (VAR).

Os modelos econômicos podem ser expressos por diversas variáveis, e um dos modelos propostos na literatura é o VAR. Os modelos VAR lembram a modelagem das equações simultâneas, pois consideram muitas variáveis endógenas em conjunto, no entanto, cada variável endógena é explicada por seus valores defasados, ou passados além dos valores defasados de todas as outras variáveis endógenas no modelo (Gujarati e Porter, 2011).

Além da importância citada acima, segundo Bueno (2011), o uso de modelos univariados é limitado para expressar modelos econômicos e os modelos VAR permitem que se expressem modelos econômicos completos e se estimem os parâmetros desse modelo. Bueno (2011) complementa, citando que os modelos VAR além de serem úteis para fazer previsões, respondem qual é a trajetória da série, dado um choque estrutural, como por exemplo, um choque econômico.

Para explicar como o VAR é estimado, será utilizado um exemplo de modelo bivariado, em que há causalidade bilateral entre X e Y com k defasagens. As equações podem ser estimadas pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) e para este modelo bivariado são:

$$X_{1t} = \alpha + \sum_{j=1}^k \beta_j X_{t-1} + \sum_{j=1}^k \gamma_j Y_{t-1} + u_{1t} \quad (1)$$

$$Y_{1t} = \alpha + \sum_{j=1}^k \theta_j X_{t-1} + \sum_{j=1}^k \gamma_j Y_{t-1} + u_{2t} \quad (2)$$

em que os u são o erro estocástico, chamado de impulso, inovação ou choque na linguagem do VAR.

Ao estimar um modelo VAR deve-se primeiramente escolher o número de defasagens de cada modelo, para esta definição podem ser utilizados os critérios de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano de Schwarz (BIC) e o critério de Hannan-Quinn (HQC).

A escolha do número de defasagens se dá com o modelo que apresentou o menor valor nos critérios de informação. Em caso de resultados com diferentes números de defasagens para cada critério de informação é melhor escolher o que apresenta o maior número de

defasagens, pois segundo Davidson e Mackinnon¹⁰ (1993 *apud* CARNEIRO, 1997) a escolha de um número elevado de defasagens seria preferível, uma vez que dessa forma pode-se verificar como a exclusão de algumas defasagens afeta o resultado das estimações. Além disso, a escolha de poucas defasagens pode causar um sério viés devido à omissão de variáveis relevantes, por outro lado, a escolha de mais defasagens do que o necessário pode levar ao viés de inclusão de variáveis irrelevantes, que é menos sério do que no caso anterior.

O uso de séries de tempo não estacionárias na estimação de modelos econométricos requer cuidados, pois ao se obter a estacionariedade por meio do uso de diferenças, pode-se perder informações relevantes, como a trajetória de longo prazo da variável dependente (Matos, 2000).

Os resíduos obtidos com base na estimação do modelo de cointegração podem ser interpretados como medida do afastamento da variável dependente de sua trajetória teórica de equilíbrio de longo prazo, conforme a teoria econômica. Assim, para não se perder informações relevantes e eliminar-se o problema da não estacionariedade, tem sido usado na literatura o procedimento de incorporar ao modelo de diferenças, como termo de correção de erros, os valores defasados dos resíduos. A explicação para inclusão dos valores de u_{t-1} está no fato de que estes não dependem das variáveis explicativas, mas da extensão que a variável considerada endógena se afasta de sua trajetória de longo prazo.

O modelo VAR pode ser estimado com as primeiras diferenças, no entanto, esta especificação só captura a relação de curto prazo entre as séries. Se as séries são cointegradas, pode-se estimar o modelo Vetorial de Correção de Erros (VCE), que incorpora o termo de correção de erros, ou seja, informa sobre os desvios das séries em relação ao equilíbrio de longo prazo. Para Lütkepohl e Krätzig¹¹ (2004 *apud* SANTOS *et al.*, 2010) a diferença entre o modelo VAR em primeiras diferenças e o VCE é a presença do termo de correção de erros, que deverá ser incluído apenas se houver uma relação de equilíbrio de longo prazo entre as séries.

Neste trabalho o VCE é estimado pelo método da Máxima Verossimilhança.

¹⁰ DAVIDSON, R.; MACKINNON, J.G. *Estimation and Inference in Econometrics*, Oxford Economic Press, 1993, Nova York.

¹¹ LÜTKEPOHL, H.; KRÄTZIG, M. *Applied Time Series Econometrics*. 1. ed. New York: Cambridge University Press, 2004.

5.3 FUNÇÃO IMPULSO-RESPOSTA E DECOMPOSIÇÃO DA VARIÂNCIA

O estudo de séries temporais pode ser complementado pelas análises da função impulso-resposta e da decomposição da variância.

Dado que os coeficientes do modelo VAR ou VCE são difíceis de interpretar, são usadas funções impulso-resposta, que medem os impactos provocados numa variável dependente dos choques em seu respectivo termo de erro. Como essa variável está nas demais equações do sistema, o choque neste termo de erro impactará as demais variáveis também, sendo o resultado idêntico para os choques nos demais termos de erro (Matos, 2000).

A análise da decomposição da variância do erro de previsão para Enders¹² (1995 *apud* PAIS, 2012) indica a proporção dos movimentos em uma série devido a choques na própria variável ou em outra variável do sistema.

5.4 DADOS UTILIZADOS

Basicamente, o estudo demandou dados anuais¹³ de demanda de energia elétrica, renda e preço de energia elétrica, conforme demonstrado na tabela 4:

TABELA 4 – DADOS UTILIZADOS E FONTES

Variável	Dados
Demanda	Consumo de energia elétrica das classes residencial, industrial, comercial e dados agregados em GWh. Fonte: Banco Central do Brasil.
Renda	<p>Classe residencial: Produto interno bruto per capita em R\$ a preços de 2015 pelo deflator do PIB. Fonte: No período de 1995 até 1999 - Ipeadata e para os demais anos - Banco Central do Brasil.</p> <p>Classe industrial: Produto interno bruto industrial em R\$ a preços de 2015 pelo deflator do PIB. Fonte: Contas Trimestrais - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.</p> <p>Classe comercial: Produto interno bruto de serviços em R\$ a preços de 2015 pelo deflator do PIB. Fonte: Contas Trimestrais - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.</p> <p>Dados agregados: Produto interno bruto em R\$ a preços de 2015 pelo deflator do PIB. Fonte: Banco Central do Brasil.</p>

¹² ENDERS, W. *Applied econometric time series*, 1995, New York.

¹³ Assim como nos trabalhos da revisão de literatura da seção 4, também optou-se por utilizar dados anuais. Acrescenta-se que o interesse do trabalho é estimar a demanda de energia elétrica para períodos mais longos, sendo mais adequado utilizar dados anuais ao invés de mensais.

Tarifa	<p>Tarifa média anual de energia elétrica em R\$/MWh das classes residencial, industrial, comercial e para os dados agregados.</p> <p>Fonte: As tarifas por classes no período de janeiro de 1995 até junho de 2015 foram obtidas no Ipeadata e de julho a dezembro de 2015 na ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Para os dados agregados a fonte foi o Ipeadata.</p> <p>Para obter a tarifa média anual, primeiro as tarifas foram corrigidas mensalmente pelo IGP-DI para de dezembro de 2015 e em seguida calculada a média anual.</p>
--------	--

FONTE: O autor (2017).

Os dados de tarifa média de energia elétrica não estavam disponíveis no período de janeiro/2000 até dezembro/2002, somente para as três classes de consumo: residencial, industrial e comercial, assim, para este período foi calculado a tarifa média ponderada pelo consumo de energia elétrica.

As tarifas referem-se somente ao mercado cativo, ou seja, não contemplam as tarifas do mercado livre, que são obtidas através de negociação entre comprador e vendedor e não são divulgadas.

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção, primeiramente é testada a presença de estacionariedade e cointegração entre as séries de tempo e em seguida são estimados os modelos para previsão da demanda de energia elétrica no Brasil para o período de 1995 a 2015.

6.1 TESTE DE ESTACIONARIEDADE

Na estimação de modelos com variáveis que envolvam séries de tempo, recomenda-se testar se as variáveis são estacionárias com o objetivo de evitar resultados espúrios, ou seja, as estatísticas de avaliação t , F e R^2 apresentam valores elevados, podendo não traduzir a verdadeira relação entre as variáveis.

As séries que apresentam características de não estacionariedade possuem raiz unitária. Para que seja diagnosticado o problema utilizam-se os testes Aumentado de Dickey-Fuller (ADF) e o KPSS¹⁴. Os testes realizados para as variáveis em nível e em primeiras diferenças estão nas tabelas 5 e 6, a seguir:

¹⁴Os testes econométricos e estimações foram realizados no software Gretl versão 1.10.90.

TABELA 5 – TESTE ADF PARA VARIÁVEIS EM NÍVEL E EM PRIMEIRAS DIFERENÇAS

Classes	Variável	Estatística τ	Nível de Significância	Resultado
Residencial	<i>LNCr</i>	-0,172179	0,9276	Não estacionária
	<i>LNyr</i>	-2,23302	0,1946	Não estacionária
	<i>LNT_r</i>	-1,93912	0,3091	Não estacionária
	$\Delta LNCr$	-2,89444	0,06462	Estacionária
	$\Delta LNyr$	-2,9993	0,05301	Estacionária
	$\Delta LNTr$	-4,17965	0,004852	Estacionária
Industrial	<i>LNCi</i>	-1,51015	0,508	Não estacionária
	<i>LNyi</i>	-1,28086	0,6173	Não estacionária
	<i>LNT_i</i>	-1,38082	0,5706	Não estacionária
	$\Delta LNCi$	-4,37608	0,003215	Estacionária
	$\Delta LNyi$	-3,82587	0,01012	Estacionária
	$\Delta LNTi$	-2,92815	0,04217	Estacionária
Comercial	<i>LNCc</i>	-0,622197	0,8445	Não estacionária
	<i>LNyc</i>	-0,180156	0,9386	Não estacionária
	<i>LNT_c</i>	-2,21604	0,2006	Não estacionária
	$\Delta LNCc$	-3,78026	0,01112	Estacionária
	$\Delta LNyc$	-2,11926	0,2398	Não estacionária
	$\Delta LNTc$	-3,06131	0,02957	Estacionária
Dados Agregados	<i>LNC</i>	-0,890646	0,7696	Não estacionária
	<i>LNy</i>	-0,677339	0,8308	Não estacionária
	<i>LNT</i>	-2,2305	0,1955	Não estacionária
	ΔLNC	-3,74907	0,01186	Estacionária
	ΔLNy	-3,02886	0,05011	Estacionária
	ΔLNT	-2,96918	0,03788	Estacionária

FONTE: O autor (2017).

Os resultados obtidos no teste ADF na tabela 5 demonstram que as variáveis em nível não são estacionárias, já as variáveis em primeiras diferenças são estacionárias ao nível de significância de 1% e 5%. A exceção é a variável renda da classe comercial, que mesmo em primeiras diferenças não é estacionária.

TABELA 6 – TESTE KPSS PARA VARIÁVEIS EM NÍVEL E EM PRIMEIRAS DIFERENÇAS

Classes	Variável	Estatística τ	Nível de Significância	Resultado
Residencial	<i>LNCr</i>	0,742185	< 0,01	Não estacionária
	<i>LNyr</i>	0,730862	< 0,01	Não estacionária
	<i>LNT_r</i>	0,43254	interpolado 0,064	Não estacionária
	$\Delta LNCr$	0,106077	> 0,10	Estacionária
	$\Delta LNyr$	0,182766	> 0,10	Estacionária
	$\Delta LNTr$	0,251124	> 0,10	Estacionária

Industrial	LNC_i	0,739617	< 0,01	Não estacionária
	$LN Y_i$	0,7309	< 0,01	Não estacionária
	LNT_i	0,48873	interpolado 0,046	Não estacionária
	ΔLNC_i	0,233453	> 0,10	Estacionária
	$\Delta LN Y_i$	0,270027	> 0,10	Estacionária
	ΔLNT_i	0,0811429	> 0,10	Estacionária
Comercial	LNC_c	0,795715	< 0,01	Não estacionária
	$LN Y_c$	0,771928	< 0,01	Não estacionária
	LNT_c	0,427974	interpolado 0,066	Não estacionária
	ΔLNC_c	0,0901388	> 0,10	Estacionária
	$\Delta LN Y_c$	0,125037	> 0,10	Estacionária
	ΔLNT_c	0,110449	> 0,10	Estacionária
Dados Agregados	LNC	0,787406	< 0,01	Não estacionária
	$LN Y$	0,780038	< 0,01	Não estacionária
	LNT	0,208718	> 0,10	Estacionária
	ΔLNC	0,090752	> 0,10	Estacionária
	$\Delta LN Y$	0,174704	> 0,10	Estacionária
	ΔLNT	0,160699	> 0,10	Estacionária

FONTE: O autor (2017).

Os resultados do teste KPPS na tabela 6 foram similares ao teste ADF, com exceção da variável renda da classe comercial que é estacionária em primeiras diferenças e da tarifa para os dados agregados que é estacionária em nível e em primeiras diferenças.

6.2 CRITÉRIO DE INFORMAÇÃO DE AIC, BIC E HQC

Antes de estimar o VAR ou o VCE é necessário adotar algum critério para selecionar o número de defasagens que será considerado no modelo, assim, foram utilizados os critérios de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano de Schwarz (BIC) e o critério de Hannan-Quinn (HQC). A tabela 7 apresenta as estatísticas dos três critérios para o sistema VAR com defasagem máxima igual a 4.

TABELA 7 – CRITÉRIO DE INFORMAÇÃO DE AIC, BIC E HQC

Classes	Defasagens	AIC	BIC	HQC
Residencial	1	-10,581482	-9,993331*	-10,523019
	2	-10,191613	-9,162349	-10,089302
	3	-10,532361	-9,061984	-10,386202
	4	-11,304667*	-9,393178	-11,114661*

Industrial	1	-8,359720	-7,771570*	-8,301257
	2	-8,461401	-7,432137	-8,359090
	3	-8,468953	-6,998576	-8,322794
	4	-9,164763*	-7,253274	-8,974758*
Comercial	1	-11,274322	-10,686171*	-11,215858
	2	-10,822733	-9,793470	-10,720423
	3	-11,632992*	-10,162616	-11,486834*
	4	-11,499833	-9,588343	-11,309827
Dados Agregados	1	-10,795483	-10,207333	-10,737020
	2	-10,480614	-9,451351	-10,378303
	3	-10,360436	-8,890059	-10,214278
	4	-13,804225*	-11,892736*	-13,614219*

FONTE: O autor (2017).

A escolha do número de defasagens se dá com o modelo que apresentou o menor valor nos critérios de informação. Os asteriscos indicam os melhores valores dos respectivos critérios de informação.

Para as classes Residencial, Industrial e Comercial, os resultados foram diferentes números de defasagens para cada critério de informação. Foi escolhido o que apresentou o maior número de defasagens, pois a escolha de poucas defasagens pode causar um sério viés devido à omissão de variáveis relevantes, e a escolha de mais defasagens do que o necessário pode levar ao viés de inclusão de variáveis irrelevantes, que é menos sério.

Para a classe Residencial, Industrial e os Dados Agregados a escolha foi por 4 defasagens e para a classe Comercial de 3 defasagens.

6.3 TESTES DE COINTEGRAÇÃO

Para verificar se as séries de tempo das variáveis são cointegradas foi utilizado o método de Johansen com o teste do traço e de máximo autovalor. Os testes são aplicados as variáveis Demanda, Renda e Preço e os resultados são apresentados nas tabelas 8 e 9:

TABELA 8 – RESULTADO TESTE DO TRAÇO

Classes	Hipótese Nula H_0 :	Hipótese Alternativa H_1 :	Estatística do Teste	Nível de Significância
Residencial	$r = 0$	$r > 0$	44,414	0,0004
	$r \leq 1$	$r > 1$	20,039	0,0084
	$r \leq 2$	$r > 2$	2,9963	0,0835

Industrial	$r = 0$	$r > 0$	53,097	0,0000
	$r \leq 1$	$r > 1$	17,571	0,0223
	$r \leq 2$	$r > 2$	1,0472	0,3062
Comercial	$r = 0$	$r > 0$	44,816	0,0003
	$r \leq 1$	$r > 1$	17,426	0,0236
	$r \leq 2$	$r > 2$	0,20568	0,6502
Dados Agregados	$r = 0$	$r > 0$	83,961	0,0000
	$r \leq 1$	$r > 1$	15,923	0,0415
	$r \leq 2$	$r > 2$	0,037358	0,8467

FONTE: O autor (2017).

No teste do traço verificou-se que a hipótese nula de que não há nenhum vetor de cointegração foi rejeitada em detrimento da hipótese alternativa de que há pelo menos um vetor de cointegração, ao nível de significância de 1%. Também, testou-se a hipótese nula de que há somente um vetor de cointegração contra a hipótese alternativa de que há mais de um vetor de cointegração, aqui, também a hipótese nula foi rejeitada, ao nível de 1% de significância para classe Residencial e 5% para Industrial, Comercial e Dados Agregados. Já a hipótese nula de que há dois vetores de cointegração contra a hipótese alternativa de que há mais de dois vetores de cointegração não foi rejeitada para as três classes e com os dados agregados.

TABELA 9 – RESULTADO DO TESTE DE MÁXIMO AUTOVALOR

Classes	Hipótese Nula H_0 :	Hipótese Alternativa H_1 :	Estatística do Teste	Nível de Significância
Residencial	$r = 0$	$r = 1$	24,375	0,0147
	$r = 1$	$r = 2$	17,043	0,0158
	$r = 2$	$r = 3$	2,9963	0,0835
Industrial	$r = 0$	$r = 1$	35,526	0,0001
	$r = 1$	$r = 2$	16,523	0,0196
	$r = 2$	$r = 3$	1,0472	0,3062
Comercial	$r = 0$	$r = 1$	27,390	0,0044
	$r = 1$	$r = 2$	17,221	0,0147
	$r = 2$	$r = 3$	0,20568	0,6502
Dados Agregados	$r = 0$	$r = 1$	68,037	0,0000
	$r = 1$	$r = 2$	15,886	0,0254
	$r = 2$	$r = 3$	0,037358	0,8467

FONTE: O autor (2017).

Os resultados do teste de máximo autovalor não foram contraditórios, verificou-se que a hipótese nula de que não há nenhum vetor de cointegração foi rejeitada em detrimento

da hipótese alternativa de que há um vetor de cointegração, ao nível de significância de 5% para classe Residencial e 1% para as demais e também para os dados agregados. Também, testou-se a hipótese nula de que há um vetor de cointegração contra a hipótese alternativa de que dois vetores de cointegração, a hipótese nula também foi rejeitada, ao nível de 5% de significância para todas as classes. Já a hipótese nula de que há dois vetores de cointegração contra a hipótese alternativa de que há três vetores de cointegração não foi rejeitada para as três classes e com os dados agregados. Os resultados apresentados nas tabelas 8 e 9 demonstram que as variáveis Demanda, Renda e Preço possuem 2 vetores cointegração para as três classes de consumo e para os dados agregados, sendo assim, é possível estimar os modelos VCE.

6.4 ESTIMAÇÃO DO VCE

Como neste trabalho a variável de interesse é demanda de energia elétrica, são apresentadas somente estas equações dos sistemas VCE para as três classes de consumo e com os dados agregados. As estimativas obtidas são:

TABELA 10 – ESTIMAÇÃO DE $\Delta LNCr$ – CLASSE RESIDENCIAL

Variável	Coefficiente	Estatística t	Nível de Significância	R^2
<i>Constante</i>	-18,7448	-3,1790	0,0246**	0,926562
$\Delta LNCr_{t-1}$	0,468115	2,3953	0,0620*	
$\Delta LNCr_{t-2}$	0,416209	2,3674	0,0642*	
$\Delta LNCr_{t-3}$	0,300775	1,5422	0,1837	
$\Delta LNYr_{t-1}$	-3,77183	-3,3373	0,0206**	
$\Delta LNYr_{t-2}$	-2,79057	-2,7714	0,0393**	
$\Delta LNYr_{t-3}$	-1,06603	-1,4386	0,2098	
ΔLNT_{t-1}	-0,331163	-1,3799	0,2261	
ΔLNT_{t-2}	-0,0947233	-0,5100	0,6318	
ΔLNT_{t-3}	-0,0718906	-0,6088	0,5692	
<i>ecr1</i>	-1,73442	-3,9277	0,0111**	
<i>ecr2</i>	3,53798	3,8184	0,0124**	

FONTE: O autor (2017).

NOTA: *10% de significância; **5% de significância; ***1% de significância.

TABELA 11 – ESTIMAÇÃO DE ΔLNC_i – CLASSE INDUSTRIAL

Variável	Coefficiente	Estatística t	Nível de Significância	R^2
Constante	0,107217	0,0859	0,9349	0,864876
$\Delta LNC_{i,t-1}$	1,9707	2,6324	0,0464**	
$\Delta LNC_{i,t-2}$	1,29869	1,9336	0,1110	
$\Delta LNC_{i,t-3}$	0,350961	0,6354	0,5531	
$\Delta LNY_{i,t-1}$	-2,44424	-3,2724	0,0221**	
$\Delta LNY_{i,t-2}$	-1,8729	-2,4107	0,0608*	
$\Delta LNY_{i,t-3}$	-0,957198	-1,4144	0,2164	
$\Delta LNT_{i,t-1}$	-0,468474	-1,5294	0,1867	
$\Delta LNT_{i,t-2}$	-0,253338	-0,8763	0,4210	
$\Delta LNT_{i,t-3}$	-0,442129	-1,4820	0,1984	
<i>eci1</i>	-3,38739	-3,0667	0,0279**	
<i>eci2</i>	2,46904	2,7480	0,0404**	

FONTE: O autor (2017).

NOTA: *10% de significância; **5% de significância; ***1% de significância.

TABELA 12 – ESTIMAÇÃO DE ΔLNC_c – CLASSE COMERCIAL

Variável	Coefficiente	Estatística t	Nível de Significância	R^2
Constante	-12,0286	-2,1892	0,0563*	0,541057
$\Delta LNC_{c,t-1}$	0,0176376	0,0685	0,9469	
$\Delta LNC_{c,t-2}$	0,108482	0,4265	0,6798	
$\Delta LNY_{c,t-1}$	-0,838285	-1,1862	0,2659	
$\Delta LNY_{c,t-2}$	-0,505272	-0,6861	0,5099	
$\Delta LNT_{c,t-1}$	-0,133168	-0,8332	0,4263	
$\Delta LNT_{c,t-2}$	0,136813	1,0397	0,3256	
<i>ecc1</i>	-0,658396	-2,2066	0,0548*	
<i>ecc2</i>	1,18065	2,2740	0,0490**	

FONTE: O autor (2017).

NOTA: *10% de significância; **5% de significância; ***1% de significância.

TABELA 13 – ESTIMAÇÃO DE ΔLNC – DADOS AGREGADOS

Variável	Coefficiente	Estatística t	Nível de Significância	R^2
Constante	-30,8452	-2,4451	0,0583*	0,786707
ΔLNC_{t-1}	0,823885	1,8291	0,1269	
ΔLNC_{t-2}	0,749905	1,8975	0,1162	
ΔLNC_{t-3}	0,382798	0,8693	0,4244	
ΔLNY_{t-1}	-2,14689	-2,1372	0,0856*	
ΔLNY_{t-2}	-1,27862	-1,4070	0,2184	
ΔLNY_{t-3}	-0,266283	-0,3100	0,7690	
ΔLNT_{t-1}	-0,195179	-0,7380	0,4937	
ΔLNT_{t-2}	0,0338873	0,1822	0,8626	
ΔLNT_{t-3}	-0,125467	-0,6272	0,5580	
<i>ec1</i>	-1,63708	-2,4382	0,0588*	
<i>ec2</i>	1,71672	2,4202	0,0601*	

FONTE: O autor (2017).

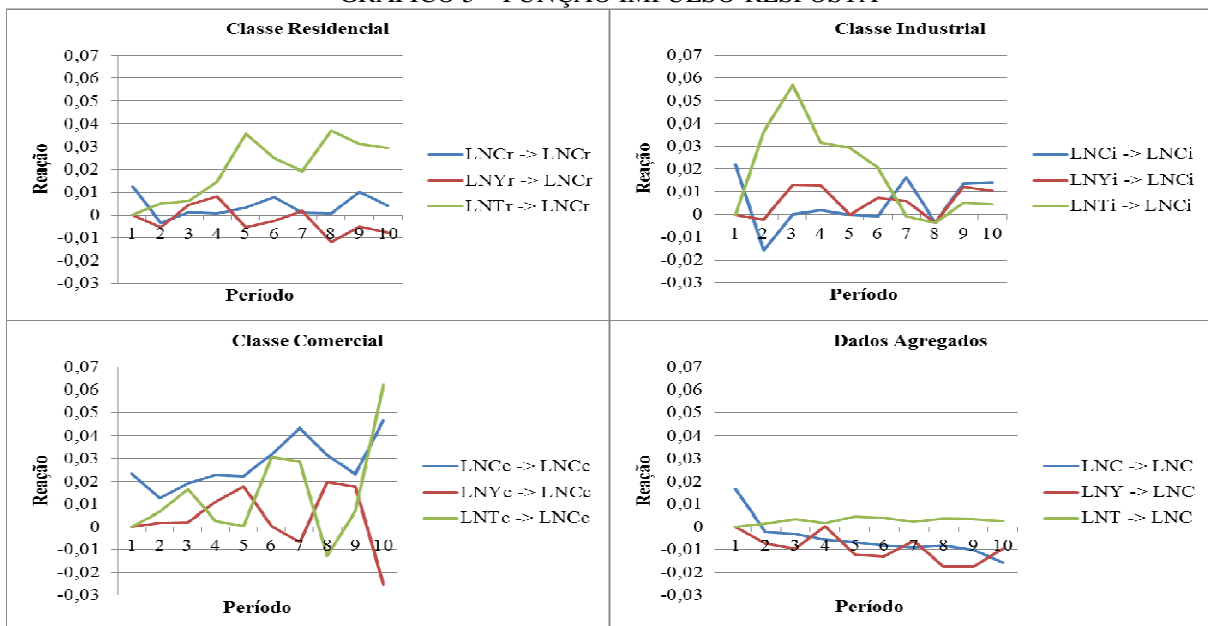
NOTA: *10% de significância; **5% de significância; ***1% de significância.

Dado que os coeficientes dos modelos VCE são difíceis de interpretar, são usadas as análises de impulso-resposta e decomposição da variância.

6.5 FUNÇÃO IMPULSO-RESPOSTA E DECOMPOSIÇÃO DA VARIÂNCIA

Para complementar a análise da demanda de energia elétrica foram estimadas as funções impulso-resposta, os resultados estão no gráfico 5, onde é possível verificar as reações do consumo de energia elétrica a choques no próprio consumo, na renda e no preço.

GRÁFICO 5 – FUNÇÃO IMPULSO-RESPOSTA



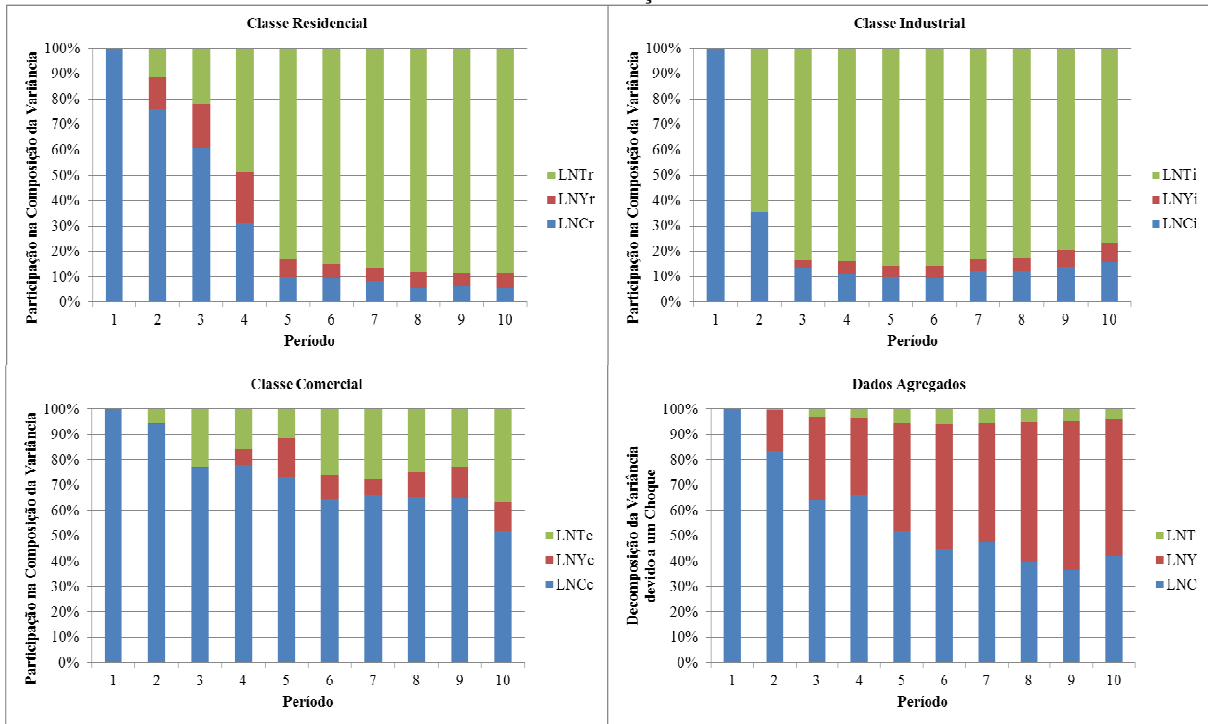
FONTE: O autor (2017).

O gráfico 5 mostra que um choque de um desvio padrão no consumo tem efeitos distintos entre as classes de consumo e os dados agregados. Estes resultados não são conclusivos, uma vez que após um choque os valores não retornam aos valores iniciais nos períodos futuros. Este problema pode ocorrer com amostras de dados muito pequenas, como as analisadas neste trabalho.

A decomposição da variância dos erros de previsão no gráfico 6 demonstra a evolução do comportamento dinâmico apresentado pelas variáveis em k períodos à frente. Para as classes residencial e industrial, grande parte da variância explicada após o primeiro período se deve ao preço. Para classe comercial a participação da demanda é significativa até o 10º período, em detrimento de uma pequena participação da renda e preço. Para os dados agregados os resultados após o primeiro período tiveram uma participação maior da renda,

mas a participação da demanda na variância ainda fica acima dos 30% nos demais períodos. Na análise dos dados agregados destaca-se que a participação do preço na variância inicia no segundo período com 0,53% e atinge a participação máxima no sexto período com 5,81%, demonstrando que o preço tem pouca influência no consumo.

GRÁFICO 6 – DECOMPOSIÇÃO DA VARIÂNCIA



FONTE: O autor (2017).

6.6 PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

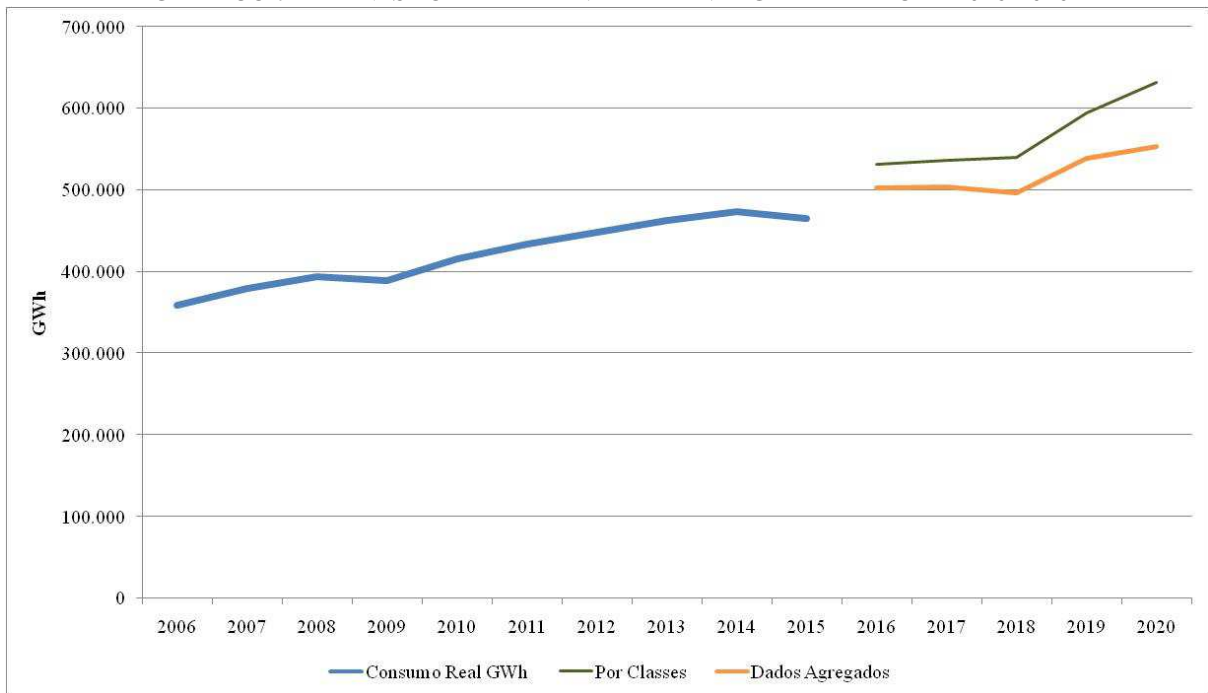
A partir dos modelos VCE estimados na seção anterior foram elaboradas previsões para a demanda de energia elétrica, na tabela 14 são apresentadas as previsões de demanda de 2016 a 2020 por classe de consumo e com os dados agregados:

TABELA 14 – PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA – 2016-2020

Ano	Por Classes			Dados Agregados		
	Limite inferior a 95%	Consumo Estimado GWh	Limite superior a 95%	Limite inferior a 95%	Consumo Estimado GWh	Limite superior a 95%
2016	511.575	531.508	552.260	486.084	502.128	518.701
2017	503.768	536.661	572.086	485.252	502.957	521.307
2018	489.791	539.456	595.616	475.905	496.126	517.207
2019	531.775	594.284	665.838	515.556	538.315	562.077
2020	554.534	631.355	719.895	524.714	552.774	582.335

Fonte: O autor (2017).

GRÁFICO 7 – PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA - 2016-2020



FONTE: O autor (2017).

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) projeta a carga de energia elétrica. A carga de energia elétrica é definida como sendo o requisito total de energia a ser atendido pelo sistema elétrico - geração, transmissão e distribuição. Desta forma, a carga é uma medida composta pelo lado da oferta. Do outro lado, a demanda é o consumo medido. A diferença entre a oferta e a demanda é chamada de perdas, que engloba as perdas elétricas, furtos, perdas comerciais e erros ou omissões.

As perdas são expressas em percentuais da carga, no período de 2011 a 2015 foram em média 18,1%, conforme valor divulgado pela EPE no Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016.

A carga é expressa em megawatts médios, sendo necessário multiplicar pelo número de horas anual para se obter os valores em megawatts horas, que é a unidade que utilizamos para previsão demanda.

Somente para comparação, utilizamos a carga projetada pela EPE para o período de 2016 a 2020 e comparamos com as previsões por classes de consumo e dados agregados, conforme tabela 15.

TABELA 15 – COMPARATIVO DE ESTIMATIVAS

Ano	Estimativa com informações da EPE				Por Classes		Dados Agregados	
	Carga (MWm)*	Carga (MWh)	Perdas (MWh)**	Demanda (MWh)	Estimativa (MWh)	Diferença %	Estimativa (MWh)	Diferença %
2016	64.636	566.211	102.484	463.727	531.508	15%	502.128	8%
2017	66.088	578.931	104.786	474.144	536.661	13%	502.957	6%
2018	68.043	596.057	107.886	488.170	539.456	11%	496.126	2%
2019	70.208	615.022	111.319	503.703	594.284	18%	538.315	7%
2020	72.766	637.430	115.375	522.055	631.355	21%	552.774	6%

FONTE: O autor (2017).

NOTA: *As projeções da EPE foram realizadas tomando como base a avaliação da conjuntura econômica e o monitoramento do consumo e da carga. As projeções apresentadas levam, ainda, em consideração o atual contexto político-econômico, bem como a atualização do cenário e indicadores de crescimento econômico para o período.

** Foi utilizado o valor de perdas médio de 18,1% referente ao período de 2011 a 2015.

Como se pode observar na tabela 15, as diferenças percentuais entre os valores estimados por classes ficam bem acima das estimativas com informações da EPE, chegando a diferença de 21% no ano de 2020. Já as estimativas com os dados agregados são no máximo 8%, demonstrando uma melhor adequação com as estimativas com informações da EPE.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho procurou estimar a demanda de energia elétrica por classes de consumo e com dados agregados, com base no período de 1995-2015, e assim, captar a dinâmica recente das variações da demanda. Além disso, foram realizadas previsões para demanda por energia elétrica para o período de 2016 a 2020.

A previsão da demanda é variável fundamental para o planejamento do setor, pois ao se realizar estimativas mais precisas de demanda, pode-se mitigar o risco de desequilíbrio entre oferta e demanda. Outra aplicação deste trabalho é para as empresas que atuam no segmento de geração, no sentido de se estimar a demanda futura e compará-la com a oferta. Esta informação é relevante pois pode subsidiar a elaboração do plano de expansão das empresas e também as estratégias de participação em leilões de contratação energia elétrica.

Os resultados indicam que a demanda, a renda e o preço para as três classes de consumo e com os dados agregados são cointegradas, ou seja, existe uma relação de equilíbrio de longo prazo. Com estes resultados foi possível estimar o modelo vetorial de correção de erros (VCE) por classes de consumo e com os dados agregados.

Na comparação com os estudos de Schmidt e Lima (2004), Andrade e Lobão (1997), Irffi *et al* (2009) e Leite (2006) utilizados como referência para especificação dos modelos

econométricos, conclui-se que os resultados aqui obtidos estão condizentes, onde também se verificou que as variáveis demanda, renda e preço são cointegradas.

A análise de elasticidade tradicional torna-se difícil de interpretar quando se utiliza modelos VCE, pois se estimam taxas de variações, por isso, foi utilizada a função impulso-resposta e decomposição da variância.

Os resultados da função impulso-resposta por classes de consumo e com dados agregados não foram conclusivos, uma vez que um choque de um desvio padrão na própria demanda, na renda e no preço não foram bem comportados, ou seja, com um choque inicial espera-se que ocorram variações positivas ou negativas nos primeiros períodos, e com o passar do tempo os valores retornem aos seus valores iniciais, o que não foi possível verificar, muito provavelmente devido a amostra ser pequena.

Com a análise de decomposição da variância dos erros de previsão, que demonstra a evolução do comportamento dinâmico apresentado pelas variáveis em k períodos à frente foi possível verificar que para as classes residencial e industrial, a variância explicada após o primeiro período se deve principalmente ao preço. Para classe comercial a variância se deve principalmente pelo consumo com uma pequena participação da renda e preço. Para os dados agregados os resultados após o primeiro período tiveram uma participação maior da renda e participação do consumo na variância acima dos 30%. Para os dados agregados destaca-se que a participação do preço na variância inicia no segundo período com 0,53% e atinge a participação máxima no sexto período com 5,81%, demonstrando que o preço tem pouca influência no consumo.

Quanto às previsões para o período de 2016 a 2020, verificou-se que as estimativas com os dados agregados apresentam diferença percentual máxima de 8% quando comparadas com as estimativas com informações da EPE, demonstrando uma melhor adequação em comparação as estimativas por classes de consumo que ficaram 21% acima em 2020.

Entre as limitações deste trabalho estão as estimativas de demanda de energia elétrica levando em consideração somente a análise econométrica, não considerando o cenário regulatório e político em que se encontra país, uma vez que o setor pode ser impactado caso ocorram mudanças significativas nestes aspectos. Além disso, o período de análise é pequeno, o que de certa forma penaliza a análise.

Sugere-se para trabalhos futuros a estimativa de modelos econométricos que possam de alguma maneira captar os aspectos regulatórios e políticos em suas previsões. Quanto ao tamanho da amostra, a sugestão é de considerar o período anterior a 1995, levando em

consideração uma possível quebra estrutural, desde que tal modificação contribua para melhorar as estimativas dos modelos.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. Redes de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/redes-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 14 fev. 2017.
- ANDRADE, T. A.; LOBÃO, W. J. A. **Elasticidade renda e preço da demanda de energia elétrica no Brasil**, Texto para discussão n° 489, IPEA, jun/1997.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL - Bacen. Sistema Gerenciador de Séries Temporais. Produto Interno Bruto e Consumo de Energia Elétrica. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br>>. Acesso em: 09 ago. 2016.
- BORGES, L. F. X.; CASTRO, N. J. **A Convergência para Novo Padrão de Financiamento para o Setor Elétrico no Brasil**. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v.13, n. 26, p. 293-298, Dez. 2006.
- BUENO, R. L. S. **Econometria de Séries Temporais**. 2. Ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.
- CARNEIRO, F. G. **A metodologia dos testes de causalidade em economia**. Texto didático n° 20, Brasília: Departamento de Economia, UnB, 1997.
- CASTRO, N. J. *et al.* **Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2020: Análise do Método, metas e riscos**. Rio de Janeiro, 2012, Texto para Discussão do Setor Elétrico n° 44 – Grupo de Estudos do Setor Elétrico – UFRJ.
- COSTELLINI, C. HOLLANDA, L. **Setor Elétrico: da MP 579 ao pacote financeiro**. Informativo de Energia – FGV Energia. Mar. 2014. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br>>. Acesso em: 02 dez. 2016.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 19 jan. 2017.
- GOMES, J. P. P.; VIEIRA, M. M. F. **O Campo da Energia Elétrica no Brasil de 1880 a 2002**. Revista de Administração Pública – EBAPE/FGV, Rio de Janeiro, Mar./Abr. 2009.
- GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia e Meio Ambiente no Brasil**. Estudos Avançados, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 7-20, Apr. 2007.
- GRETLL - GNU *Regression, Econometric and Time-series Library*, versão 1.10.90, 2015.
- GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria Básica**. 5. Ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Indicadores - Contas Trimestrais. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 24 jan.2017.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - Ipeadata. Dados Macroeconômicos e Regionais - Energia Elétrica - Tarifa Média. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 28 jun.2016.

IRFFI, G. *et al.* **Previsão da Demanda por Energia Elétrica para Classes de Consumo na Região Nordeste, usando OLS Dinâmico e Mudança de Regime.** Revista de Economia Aplicada – USP, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 69-98, Jan./Mar. 2009.

LEITE, S. Q. **Projeções para a demanda por energia elétrica no Brasil, 2006-2015.** Dissertação de Mestrado Profissionalizante em Economia – IBMEC–RJ, dez/2006.

MATOS, O. C. de. **Econometria Básica: Teoria e Aplicações.** 3. Ed. São Paulo: Atlas, 2000.

MATTOS, L. B.; LIMA, J. E. **Demanda Residencial de Energia Elétrica em Minas Gerais: 1970 a 2002.** Nova Economia, Belo Horizonte, V.15, n. 3, p. 31- 52, Set./Dez. 2005.

MODIANO, E. M. **Elasticidade renda e preços da demanda de energia elétrica no Brasil,** Texto para discussão nº 68, PUC–Rio de Janeiro, mai/1984.

OLIVEIRA, F.H.P. **Crescimento Econômico, retornos crescentes de escala e difusão tecnológica – o caso brasileiro.** Belo Horizonte, 2002. Dissertação (Mestrado em Economia) – Faculdade de Ciências Econômicas, UFMG.

OZORIO, L.M. **Análise do Desempenho Econômico-Financeiro de Distribuidoras de Energia Elétrica no Brasil.** Rio de Janeiro, 2015, Texto para Discussão do Setor Elétrico nº 66 – Grupo de Estudos do Setor Elétrico – UFRJ.

PAIS, P. S. M. **A demanda de energia elétrica no Brasil pós-acionamento.** Dissertação Mestrado em Economia Aplicada, UFV, 2012.

SANTOS, R. B. N. **Relações de Co-integração entre Preço dos Biocombustíveis e Alimentos: Comparativo entre o Etanol Americano e a Produção de Milho no Brasil.** 48º Congresso SOBER, jul/2010.

SCHMIDT, C. A. J. *et al.* **A demanda por energia elétrica no Brasil,** Revista. Brasileira de Economia. vol. 58 nº 1 – Rio de Janeiro Jan/Mar 2004.

SIQUEIRA, M. L.; JÚNIOR, H. H. C.; CASTELAR, I. **A demanda por energia elétrica no nordeste brasileiro após o racionamento de 2001-2002: previsões de longo prazo.** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Ipea, Revista Pesquisa e Planejamento Econômico (PPE), Rio de Janeiro, v. 36, n. 1, Abr. 2006.

TOLMASQUIM, M. T. **Novo Modelo do Setor Elétrico Brasileiro.** Rio de Janeiro: Synergia, 2011.