



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIA, CONTABILIDADE**  
**E SECRETARIADO EXECUTIVO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA – CAEN**  
**MESTRADO ACADÊMICO EM ECONOMIA**

**LUCAS THIXBAI FREITAS FRAGA**

**BEM-ESTAR ECONÔMICO NO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA: MODELO E**  
**ANÁLISE PARA OS AMBIENTES LIVRE E REGULADO DO MERCADO DE**  
**ELETRICIDADE BRASILEIRO**

**FORTALEZA**

**2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

F87b Fraga, Lucas Thixbai Freitas.  
BEM-ESTAR ECONÔMICO NO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA : MODELO E ANÁLISE PARA OS  
AMBIENTES LIVRE E REGULADO DO MERCADO DE ELETRICIDADE BRASILEIRO / Lucas  
Thixbai Freitas Fraga. – 2018.  
60 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia, Administração,  
Atuária e Contabilidade, Programa de Pós-Graduação em Economia, Fortaleza, 2018.  
Orientação: Prof. Dr. Sergio Aquino de Souza.  
Coorientação: Prof. Dr. Francisco Gildemir Ferreira da Silva.

1. Mercado de eletricidade. 2. Demandas de energia. 3. Fontes renováveis. 4. Bem-estar econômico. 5.  
Elasticidades Produção. I. Título.

---

CDD 330

LUCAS THIXBAI FREITAS FRAGA

BEM-ESTAR ECONÔMICO NO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA: MODELO E  
ANÁLISE PARA OS AMBIENTES LIVRE E REGULADO DO MERCADO DE  
ELETRICIDADE BRASILEIRO

Projeto de Dissertação apresentado ao Centro de Aperfeiçoamento dos Economistas do Nordeste da Universidade Federal do Ceará na linha de pesquisa de “Organização Industrial”, como requisito para a obtenção de título de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Aquino de Souza.

Co-orientador: Prof. Dr. Francisco Gildemir Ferreira da Silva.

FORTALEZA

2018

LUCAS THIXBAI FREITAS FRAGA

BEM-ESTAR ECONÔMICO NO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA: MODELO E  
ANÁLISE PARA OS AMBIENTES LIVRE E REGULADO DO MERCADO DE  
ELETRICIDADE BRASILEIRO

Projeto de Dissertação apresentado ao Centro de Aperfeiçoamento dos Economistas do Nordeste da Universidade Federal do Ceará na linha de pesquisa de “Organização Industrial”, como requisito para a obtenção de título de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Aquino de Souza.

Co-orientador: Prof. Dr. Francisco Gildemir Ferreira da Silva.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. Sergio Aquino de Souza (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará - CAEN

---

Prof. Dr. Francisco Gildemir Ferreira da Silva (Co-orientador)  
Universidade Federal do Ceará - FEAAC

---

Prof. Dr. Luiz Alberto Esteves  
Banco do Nordeste do Brasil

---

Prof. Dr. Nivalde José de Castro  
Universidade Federal do Rio de Janeiro - GESEL

*Em memória de minha mãe, avós e tia-avó.*

*Dedico a meu amado pai, Sergio, e grande  
madrasta, Karine.*

*Aos meus melhores amigos e irmãos Raí,  
Moisés e Schauana.*

*Aos meus amigos do Rio Grande do Sul e  
Ceará.*

## **AGRADECIMENTOS**

À CAPES, pelo apoio financeiro e manutenção de bolsa de auxílio financeiro, cujo deslocamento se tornou possível.

Ao Prof. Dr. Sergio Aquino de Souza, pela orientação e aprendizado em docência.

Ao Prof. Dr. Francisco Gildemir Ferreira da Silva, pelo imenso apoio, orientação firme e forte presença sempre que possível.

Aos professores da banca examinadora Luiz Alberto Esteves, pela presteza e interesse neste trabalho, e Nivalde José de Castro, pelo imenso conhecimento e disponibilidade.

Ao Centro de Aperfeiçoamento dos Economistas do Nordeste, pela estrutura física e apoio de seus funcionários.

Ao Professor Ricardo Pereira, coordenador do CAEN, cujo primeiro contato tornou possível o encaminhamento de orientação aos professores que compõe a banca.

Aos colegas e professores do CAEN, FEAAC e Centro de Humanidades da Universidade Federal do Ceará, pelas sugestões e críticas.

## RESUMO

O papel fundamental de fontes renováveis na base do fornecimento de energia elétrica no Brasil há tempos altera a forma com que se observa o setor elétrico a partir do seu caráter estratégico. A segurança energética tomou assento nas discussões do crescimento sustentável do país, muito embora sob a luz da ciência econômica as inovações metodológicas para abordagem deste tema passaram a ter uma dedicação especial em um período relativamente recente. Especificamente para o caso brasileiro, os avanços para este tipo de análise ganharam força nos últimos 30 anos. O objetivo principal desta dissertação é formalizar a discussão de benefício econômico proporcionado por este fenômeno, propondo uma nova abordagem de avaliação de políticas públicas para o setor elétrico sob a ótica do bem-estar. Dessa forma, como parte deste objetivo, estimaram-se também elasticidades de demanda para as duas divisões do mercado de eletricidade brasileiro, os ambientes de contratação livre e regulado, assim como as respectivas elasticidades produção da produção de energia elétrica. A metodologia utilizada vai de encontro a outras propostas utilizadas pela literatura especializada, contando também com inovações na construção de modelos de demanda. Os resultados alcançados permitem a corroboração da hipótese de uma melhoria em níveis de bem-estar proporcionadas pelas fontes renováveis, explicado pelo avanço recente de sua participação na matriz energética, embora as fontes de grandes hidroelétricas ainda sejam maioria. Por fim, constata-se a fundamental importância do crescimento de projetos de energias de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira.

**Palavras-Chaves:** Mercado de eletricidade; Bem-estar econômico; Fontes renováveis; Demandas de energia; Elasticidades Produção.

## **ABSTRACT**

The fundamental role of renewable sources in the base of the electric power supply in Brazil has long altered the way in which the electric sector is observed from its strategic character. Energy security has taken its place in the discussions of sustainable growth in the country, although in the light of economic science the methodological innovations to approach this subject have had a special dedication in a relatively recent period. Specifically, for the Brazilian case, the advances for this type of analysis have gained strength in the last 30 years. The main objective of this dissertation is to formalize the discussion of economic benefit provided by this phenomenon, proposing a new approach to the evaluation of public policies for the electric sector from the point of view of well-being. Thus, as part of this objective, we also estimated elasticities of demand for the two divisions of the Brazilian electricity market, free and regulated contracting environments, as well as the respective elasticities of substitution of electricity production. The methodology used is in line with other proposals used by the specialized literature, also with innovations in the construction of demand models. The results obtained corroborate the hypothesis of an improvement in levels of well-being provided by renewable sources, explained by the recent progress of its participation in the energy matrix, although the sources of large hydroelectric plants are still a majority. Finally, we note the fundamental importance of the growth of renewable energy projects in the Brazilian electricity matrix.

Keywords: Electricity market; Economic well-being; Renewable sources; Energy demands; Replacement elasticities.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

GRÁFICO 1 - Consumo e Preço do ACR.....	15
GRÁFICO 2 - Consumo e PLD no ACL.....	16
GRÁFICO 3 - PIB per capita; IPP Material Elétrico; e IPP Máquinas e Equipamentos .....	17
TABELA 1 - Teste ADF - ACR.....	21
TABELA 2 -Seleção de defasagens do Sistema VAR – ACR.....	22
TABELA 3 - Teste $\lambda$ -traço – ACR.....	22
QUADRO 1 - Teste $\lambda$ -traço – ACR.....	23
TABELA 4 - Teste ADF - ACL.....	24
TABELA 5 - Seleção de defasagens do Sistema VAR – ACL.....	25
TABELA 6 - Teste $\lambda$ -traço – ACL.....	26
QUADRO 2 - Teste $\lambda$ -traço – ACL.....	26
QUADRO 3 - Comparações de resultados .....	30
GRÁFICO 4 - Consumo e Geração De Eletricidade de 1983 A 2003 .....	33
GRÁFICO 5 - Composição da Matriz de Geração de Eletricidade em 2016.....	35
TABELA 7 - Composição da Matriz de Geração de Eletricidade em 2016, por Fonte .....	36
QUADRO 4 - Potência e Dimensão de Reservatórios de Usinas Hidrelétricas.....	37
GRÁFICO 6 - Geração de Eletricidade e Produto Nacional.....	38
TABELA 8 - Teste ADF para a Função de Produção de Energia Elétrica no Brasil.....	45
QUADRO 5 - Estimação da Função de Produção por Variáveis Instrumentais .....	45
TABELA 9 - Elasticidades Produção da Matriz de Produção de Eletricidade .....	51
TABELA 10 - Valores de Bem-Estar nos Ambientes de Contratação Regulado e Livre.....	52

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	CONSUMO DE ELETRICIDADE E ELASTICIDADES DE DEMANDA NOS AMBIENTES REGULADO E LIVRE DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO .	12
2.1	Comportamento de Variáveis Setoriais.....	13
2.2	Metodologia de Estimação .....	18
2.3	Estimação das Demandas .....	20
2.4	Considerações Parciais .....	28
3	ASPECTOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA BRASILEIRO E ELASTICIDADES PRODUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE.....	31
3.1	Modelo Centralizado e Desregulamentação.....	31
3.2	Geração de Eletricidade Sob o Novo Marco Regulatório.....	34
3.3	Perspectivas de Geração de Eletricidade no Brasil .....	40
3.3.1	<i>SmartGrid (SG)</i> .....	41
3.3.2	<i>Geração por Heliotermia (Concentrating Solar Power)</i> .....	41
3.3.3	<i>Geração Distribuída</i> .....	42
3.3.4	<i>Programa de P&amp;D da Aneel</i> .....	42
3.3.5	<i>Ampliação do Mercado Livre de Energia</i> .....	43
3.4	Elasticidades Produção da Produção de Energia Elétrica no Brasil.....	43
3.4.1	<i>Metodologia e Estimação</i> .....	44
3.5	Considerações Parciais .....	46
4	MAPEAMENTO E SIMULAÇÃO DA FUNÇÃO DE BEM ESTAR PARA OS MERCADOS REGULADO E LIVRE DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO .	49
4.1	Modelo, Metodologia e Simulação .....	49
4.2	Interpretação dos Resultados.....	52
4.2.1	<i>Ambiente de Contratação Regulado</i> .....	52
4.2.2	<i>Ambiente de Contratação Livre</i> .....	53
4.2.3	<i>Mercado de Energia Brasileiro</i> .....	54
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	55
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57

## 1 INTRODUÇÃO

O trabalho de verificar o bem-estar econômico de qualquer setor revisita diversos outros questionamentos sobre a aplicação do instrumental metodológico a ela exigido. Em definição livre, bem-estar é a medida econômico-matemática que avalia o ganho ou a perda de uma área tida como uma região de benefício econômico entre dois ou mais agentes ou mercados. Neste caso, a comparação seria o mercado de eletricidade brasileiro como área total, e suas subdivisões como as áreas representadas pelas fontes de fornecimento de energia.

Como sendo um setor estratégico e intimamente ligado ao progresso econômico do país, a proposição de avaliação de bem-estar para o setor elétrico brasileiro se fez necessária, servindo como objetivo principal desta dissertação. Os principais questionamentos que são postos frente a um ganho ou perda de bem-estar econômico para o setor de eletricidade se fazem presentes em um cenário em que o avanço de novas tecnologias de produção de energia, especialmente as de fontes renováveis, entram na pauta de pesquisa das principais *Think Tanks*<sup>1</sup> do país. Cabe a este trabalho formalizar a análise de bem-estar para então iniciar uma nova discussão acerca da tendência de mudança da matriz energética brasileira.

Frente aos problemas ocasionados pelo tradicional modelo hidrotérmico da base elétrica nacional, a construção de uma base institucional que as promoveram nas últimas décadas sofreu um esgotamento premeditado, muito em parte decorrente da dependência destas fontes às mudanças climáticas que ocorrem no planeta, assim como a criação e evolução de novas tecnologias e processos de geração de eletricidade que permitem a substituição da base energética nacional para um modelo diversificado e de menor risco. Isto se verifica como tendência a partir de recentes decisões governamentais de promover a aprimoramento da matriz elétrica através da promoção de usinas eólicas, fotovoltaicas de pequenas centrais hidrelétricas, com custos de produção e operação relativamente menores aos encontrados frente a operacionalização de térmicas, por exemplo. Mais uma vez, a mudança no arcabouço institucional é apoiada na preocupação do governo brasileiro acerca da defesa da segurança energética através da garantia do suprimento. Aliado a isso, fortalecer a competição e promover a modicidade tarifária são, também, objetivos finais da construção do modelo brasileiro.

A exigência para a construção e simulação da função de bem-estar para o mercado elétrico do Brasil passa por análises da demanda e oferta. Assim sendo, para que este processo

---

<sup>1</sup> Da tradução literal “Usina de Ideias” são entidades que produzem e difundem conhecimentos a partir de grupos de interesse, como universidades, empresas e organizações não-governamentais.

seja mais preciso, subdividiu-se o mercado em suas duas formas de contratação: o Ambiente de Contratação Regulado (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL)<sup>2</sup>. Dessa forma, cada nicho setorial, com características institucionais próprias, são analisados detalhadamente para que se possa identificar os elementos que compõem suas respectivas ofertas e demandas, para então simular a função de bem-estar final. Os resultados encontrados para este trabalho são absolutamente aderentes com a realidade do setor, e encontram-se como uma tendência em uma possível reformulação do marco institucional, proposto pelo governo brasileiro no ano de 2017.

Finalmente, a justificativa para este trabalho se encontra com a própria definição de bem-estar, como sendo uma medida para identificar o valor locacional entre unidades de eficiência econômica, passando posteriormente por um processo de divisão da utilidade alcançada por estes valores. Por conta disso, as medidas aqui encontradas explicam por si só a eficiência alocativa na produção e consumo de energia elétrica do país, cuja própria construção final do modelo de bem-estar exige um antecedente teórico e empírico muito maior que simplesmente a simulação do modelo final. Os resultados finais são meramente consequências da rigidez colocada no ato de construção do método empregado, e são satisfatórios para aqueles que vislumbram a continuidade do modelo de expansão da matriz elétrica atualmente empregado.

O trabalho se divide em três áreas: a primeira delas contempla a ótica do consumo, através das estimativas de demanda e elasticidades preço e renda para os dois grandes nichos do mercado de eletricidade, o ACR e o ACL. Em um segundo momento, observa-se a ótica da produção através das estimativas de elasticidades produção das formas de energias atualmente utilizadas, divididas em grupo por fonte. Por fim, simula-se a função de bem-estar com parâmetros extraídos das sessões anteriores, e conclui-se sobre os resultados finais encontrados nestes parâmetros.

---

<sup>2</sup> Embora na ótica da produção não exista essa diferença, é no ato de contratação por distribuidoras que qualquer geradora possa, em teoria, fornecer energia de qualquer fonte no mercado regulado.

## 2 CONSUMO DE ELETRICIDADE E ELASTICIDADES DE DEMANDA NOS AMBIENTES REGULADO E LIVRE DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO<sup>3</sup>

O setor elétrico brasileiro tem como marco legal uma estrutura moldada na reforma setorial ocorrida em 2004, que tinha como objetivos “*garantir a segurança no suprimento; promover a modicidade tarifária; e promover a inserção social, em particular pelos programas de universalização*” (ANEEL, 2008).

Esta reforma trouxe como uma das suas principais características a convivência entre agentes públicos e privados no mercado de energia, ficando a cargo do governo federal o papel de regulador e planejador central da expansão do parque gerador brasileiro. Foram criados também dois ambientes de contratação de eletricidade: o Ambiente de Contratação Livre – ACL – onde se encontram os maiores demandantes de energia elétrica (demanda igual ou superior a 500kW para consumidor especial e 3.000kW para consumidor livre), e o Ambiente de Contratação Regulado – ACR – estando nele a maioria dos consumidores de energia do país (composto pelo mercado residencial, alguns setores comerciais e industriais, setor rural e setor público).

Este capítulo objetiva estimar as funções de demanda para os mercados livre e regulado, para o caso brasileiro, obtendo as respectivas elasticidades preço e renda para verificar o comportamento do consumo e identificar informações para a tomada de decisões dos agentes do setor, dada a mudança estrutural descrita no primeiro parágrafo. Serão usadas técnicas econométricas que objetivam solucionar problemas de endogeneidade existente em modelos outrora propostos.

O capítulo está dividido da seguinte forma: sequencialmente, uma breve análise da evolução dos preços e consumo nos dois ambientes será feita, assim como variáveis de renda e preços de bens eletrodomésticos; O item que segue, mostrará a metodologia e forma de estimação aqui empregada; na quarta parte faremos a estimação da demanda por energia elétrica em ambos os casos; por fim, serão expostas as conclusões e comentários acerca dos resultados obtidos e que indicam elasticidades preço e renda, tanto para o ACR como para o ACL, como sendo inelásticas, convergindo com os resultados de outros trabalhos que caracterizam o comportamento do setor.

---

<sup>3</sup> Este capítulo foi apresentado preliminarmente no 2º Congresso Brasileiro de Geração Distribuída, na cidade de Fortaleza, Ceará, em outubro de 2017.

## 2.1 Comportamento de Variáveis Setoriais

A estrutura do setor elétrico no período recente foi alterada por duas grandes reformas ocorridas em 1998 e 2004.

A primeira reforma, de caráter neoliberal, tinha a proposta de dar competitividade ao setor, tirando das mãos do governo o peso de planejar e executar a expansão, geração, transmissão e distribuição de eletricidade de forma verticalizada. Dessa forma, ampliando a concorrência, reduzindo os preços e gerando eficiência. Foram adotadas medidas de privatização de estatais através da alteração do marco regulatório de forma a incluir a participação de empresas de capital privado. As atividades geração e transmissão foram desverticalizadas, onde o monopólio natural a ser regulado estaria presente na distribuição e transmissão. Os preços estariam de acordo com as especificidades da área de atuação de uma determinada concessionária de energia, assim como a estrutura de seus custos. Foi criado também o mercado livre de energia, para consumidores que utilizavam a partir de 3000MW. Criou-se a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), responsável por fiscalizar os atos do setor elétrico. Entretanto, por problemas na hidrologia dos reservatórios, ineficácia no planejamento do processo de privatizações e incapacidade financeira de se expandir a oferta de energia (devido ao acordo com o FMI para solução da moratória, feito à época), ocorreu o que ficou hoje conhecido como a crise do “apagão”.

A segunda reforma, feita em 2004, chamada por Costa (2016) de a “*reforma da reforma*”, iniciou-se com a Lei 10.848/04 como novo marco regulatório do setor, baseando-se na modicidade tarifária, segurança do suprimento de energia e estabilidade no marco regulatório, assim como expandir os acessos à rede elétrica. Dessa forma, esta permitiu a atuação de agentes públicos e privados no mesmo ambiente; estruturou normas de contratação de energia nova, através de leilões; definiu a existência de dois ambientes de contratação (ACR e ACL); estimulou a participação de formas de energia alternativa; e criou a CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica), em substituição ao Mercado Atacadista de Energia. Foram criadas também a EPE (Empresa de Planejamento Energético) que faz estudos de viabilidade para a construção de novas usinas utilizados na ampliação da capacidade de geração do setor; e o CMSE (Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico), almejando garantir a segurança no suprimento. A origem destas instituições se deu no intuito de garantir ao estado o papel de planejador e regulador central, de forma a evitar os mesmos erros cometidos no período do “apagão”.

Após as reformas ocorridas, podemos enunciar a dinâmica dos mercados regulado e livre através dos seguintes fatos estilizados:

1. Elasticidades preço da demanda de curto prazo relativamente baixas;
2. Aumento da renda dos cidadãos e nível de atividade econômica correlacionado com um aumento no uso de aparelhos eletrodomésticos;
3. Demanda por eletricidade no setor regulado relativamente estável ao longo últimos anos; e
5. Perspectivas de mudanças na matriz energética e apelo social por uma base limpa e renovável refletidas diretamente nas expectativas dos agentes.

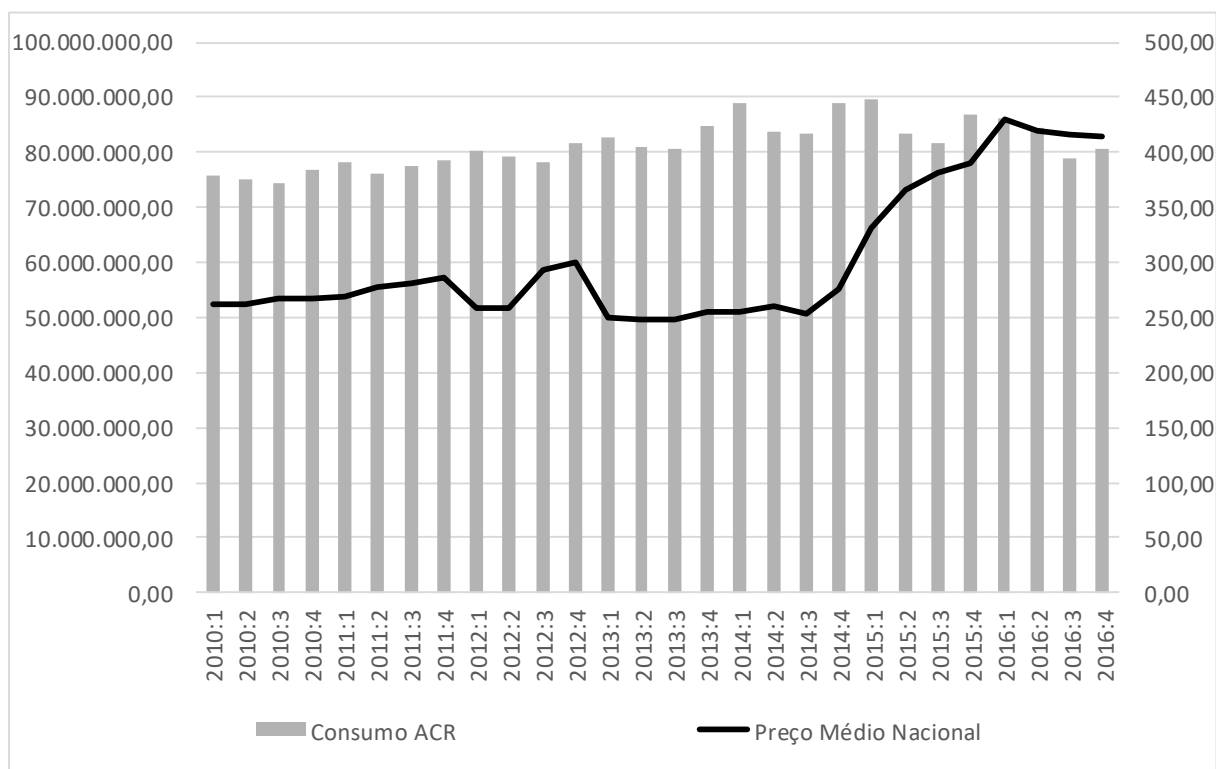
Diante da nova estrutura institucional formada pelo marco do setor, eventuais choques institucionais terão impacto menor na flutuação das variáveis em estudo para o período em questão. Isso posto, é fundamental que se inicie esta análise pelo ACR, em se tratando do ambiente com maior número de consumidores. Os preços são regulados pela união, e seguem uma tendência de variação rígida sendo delimitados através de despachos junto à agência reguladora. A própria composição dos preços pelas comercializadoras de energia não é igual devido a uma série de fatores. Segundo Ramos, Brandão e Castro (2012), “*haveria homogeneidade nos preços cobrados pelas distribuidoras se suas condições de atuação fossem análogas umas às outras*”. Dentre as diferenças entre os comercializadores, destacam-se: o preço da energia comprada por elas é diferente; desigual volume de investimentos em ativos fixos por consumidor; índices de perdas e inadimplência distintos; díspar proporção de subsídios cruzados na região de concessão; e custos operacionais específicos. Ainda em Ramos, Brandão e Castro (2012), a estrutura tarifária determinada pela ANEEL é decomposta em: custos não gerenciáveis, que não estão sob controle da distribuidora e são repassados diretamente às tarifas, sendo basicamente composta pela compra de energia, pagamento dos serviços de transmissão de energia a longa distância e encargos setoriais; custos gerenciáveis, nos quais a distribuidora tem poder de alterá-los (sua produtividade e eficiência são fundamentais), subdividindo-se entre custos operacionais e remuneração dos investimentos; e componentes financeiros, dentre os quais entram os subsídios.

Uma série de medidas buscaram a redução nos preços de energia de forma a reduzir os custos de produção das firmas e estimular o produto interno do país. Uma dessas intervenções, a Medida Provisória 579, adotada em janeiro do ano de 2013 que alterou tarifas de geração e transmissão de energia (CASTRO *et. al.*, 2011) e forçou artificialmente a redução

de preços no mercado regulado de energia, surge como exemplo de um esforço do governo no sentido de alterar a dinâmica conjuntural do mercado.

A proposta estabelecia a renovação de concessões, embora, em contrapartida, seria determinada a redução imediata das receitas das empresas, além de redução de tributos, caracterizando uma medida insustentável, durando até o fim do ano seguinte, quando os preços dispararam.

**Gráfico 1.** Consumo e Preço do ACR (MW/h – eixo esquerdo; R\$/MW – eixo direito).



**Fonte:** Agência Nacional de Energia Elétrica.

No Gráfico 1 observa-se a variação do consumo no Mercado Regulado (ACR) de energia. Como dito anteriormente, o consumo se mantém com um comportamento rígido ao longo do tempo. Verifica-se que, pelo preço, existe um aumento no período recente, explicado basicamente pelo aumento do uso de térmicas, que possuem um custo mais elevado de produção de energia, além da reposição de perdas das distribuidoras devido a MP 579. A variação trimestral é explicada pela sazonalidade no consumo de energia ao longo de um único ano.

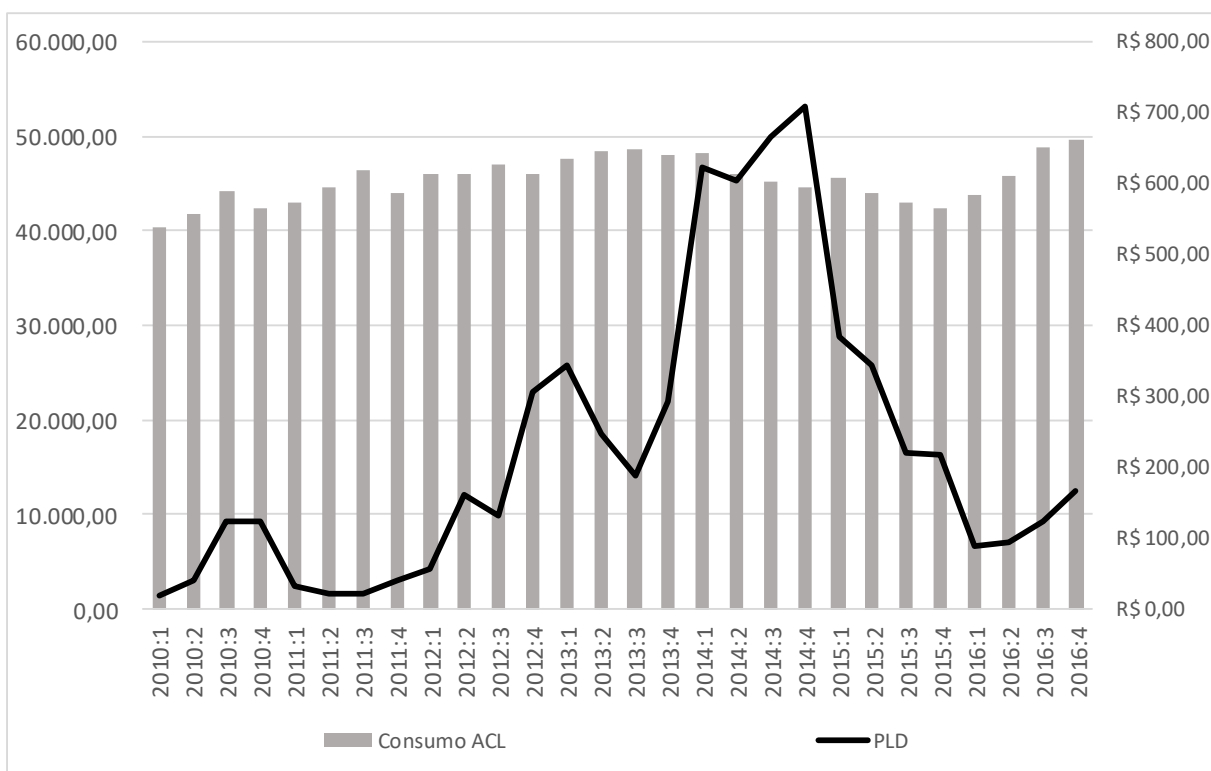
Os períodos de verão no último e no primeiro semestre de cada ano sugere uma elevação na carga de energia devido ao emprego de aparelhos consumidores de elevada carga como, por exemplo, aparelhos de ar-condicionado, sendo invariável à região do país. Por



exemplo, nos submercados do nordeste e norte, o uso de aparelhos eletrodomésticos de alta carga não varia ao longo do ano, se mantendo constante devido as altas temperaturas ao longo do ano nestas regiões.

No caso dos submercados do sul e sudeste/centro-oeste, onde o período de outono e inverno apresentam temperaturas mais amenas, o uso daqueles aparelhos é dispensado. A flutuação acentuada no consumo por ocasião destes fenômenos se deve pela concentração de linhas consumidoras nestes submercados, que são os maiores centros de consumo de energia no país.

**Gráfico 2.** Consumo e PLD no ACL (MW/h – eixo esquerdo; R\$/MW – eixo direito).



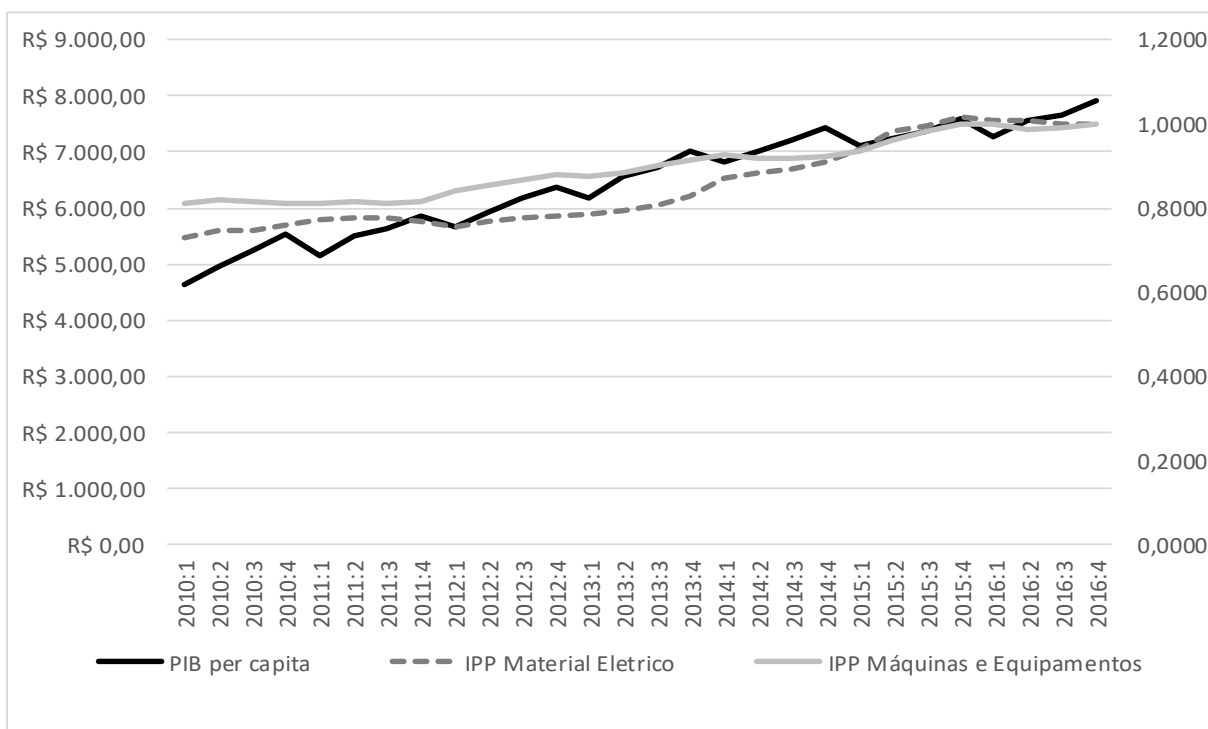
**Fonte:** Agência Nacional de Energia Elétrica.

O Gráfico 2 nos mostra a mesma dinâmica no Mercado Livre de Energia (ACL). Por se tratar de um mercado onde o aspecto institucional permite uma negociação e comercialização direta entre os agentes que o mesmo processo no mercado regulado, então se permite uma flutuação de preços maior. O Preço de Liquidação de Diferenças (PLD) é o preço periódico (semanal) que permite a liquidação de um determinado excedente energético por um agente que pode ser negociado no mercado de curto prazo através da Câmara de

Comercialização de Energia Elétrica dentro de cada submercado: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte, e essa quantidade de energia é liquidada pelo PLD no dia.

A oscilação no consumo de energia neste caso está diretamente atrelada aos índices de atividade econômica. Por não possuir agentes residenciais, o descolamento da dinâmica de consumo exercida pelos consumidores cativos permite a identificação de novos parâmetros analíticos de comportamento. Composta primordialmente por agentes industriais, o consumo no setor livre de eletricidade varia de acordo com a produção industrial do país. Nos períodos de 2015 e 2016, com a recente crise política e recessão no crescimento do produto do Brasil, os indicadores de atividade econômica se retraíram, assim como níveis de produção da indústria. Dessa forma, gerou-se o aumento de estoques e consequente corte de produção, ocasionando o desligamento de máquinas e equipamentos. Com a perspectiva de melhora no cenário macroeconômico e retomada do crescimento, a capacidade ociosa da economia volta a ser empregada, elevando novamente o consumo de energia. O setor de comércio e serviços, como sendo também um relevante nicho consumidor no ACL, tem sua dinâmica afetada pela renda, que impulsiona o consumo das famílias. De forma direta, afeta também a indústria.

**Gráfico 3.** PIB per capita (eixo esquerdo); IPP Material Elétrico; e IPP Máquinas e Equipamentos (eixo direito).



Fonte: IBGE.

A renda nacional, por sua vez, teve uma tendência de aumento ao longo do período analisado, assim como os indicadores de preços ao produtor de materiais elétricos e máquinas e equipamentos. A flutuação da renda é típica à observada no Brasil nos períodos recentes, também chamada de “*o vôo da galinha*”, com períodos de crescimento e breves períodos de queda, observado nitidamente no Gráfico 3.

Uma eventual correlação entre a renda e os preços se deve ao fato de o fator de determinação maior do aumento no PIB ser ampliado pelo consumo. Uma estagnação na variação dos preços no começo do período analisado é explicada por políticas de isenção de IPI, promovido pelo governo federal de forma a estimular o consumo de bens da chamada linha branca (como geladeiras e máquinas de lavar) e promover o aquecimento da produção da economia. O IGP-DI também se manteve estável ao longo do tempo de nossas séries.

Uma eventual correlação entre a renda e os preços se deve ao fato de o fator de determinação maior do aumento no PIB ser ampliado pelo consumo. Uma estagnação na variação dos preços no começo do período analisado é explicada por políticas de isenção de IPI, promovido pelo governo federal de forma a estimular o consumo de bens da chamada linha branca (como geladeiras e máquinas de lavar) e promover o aquecimento da produção da economia. O IGP-DI também se manteve estável ao longo do tempo de nossas séries.

## **2.2 Metodologia de Estimação**

As estimações de demanda neste capítulo serão elaboradas para os mercados regulado (ACR) e livre (ACL), no Brasil. O método utilizado seguirá os trabalhos de Lobão e Andrade (1997) e Lima e Schmidt (2004), para o caso brasileiro, e Hondroyiannis (2004) e Beenstocka, Goldinb e Nabotb (1997), para os casos grego e israelense, respectivamente. O diferencial essencial deste trabalho é a ótica de estimação das elasticidades, em comparação com os modelos de Lobão e Andrade (1997) e Lima e Schmidt (2004): nestes textos, foram estimadas as elasticidades para os setores Residencial, no primeiro caso, e Residencial, Industrial e Comercial, no segundo caso. A questão a ser colocada em contraponto sobre estes trabalhos é que não existem uma distinção sobre o que é livre e o que é regulado. Por exemplo, o mercado Residencial como um todo é ACR, mas alguns usuários do ACL são dos setores comercial e, principalmente, industrial.

O modelo teórico referencial de nossa estimação segue a função de produção Cobb-Douglas padrão:

$$C_t = k P_t^\alpha Y_t^\beta Pe_t^\delta ; k > 0, \alpha < 0, \beta > 0, \delta < 0 \quad (1)$$

Extraindo o primeiro logaritmo da função, teremos:

$$\log C_t = \text{Log}k + \alpha \text{Log}P_t + \beta \text{Log}Y_t + \delta \text{Log}Pe_t \quad (2)$$

Onde temos que:

$C_t$  é o consumo por indivíduo no período t.

$P_t$  é o preço de eletricidade no respectivo mercado no período t.

$Y_t$  é a renda no período t, aqui sendo representada pelo PIB per capita em t.

$Pe_t$  é o preço de aparelhos elétricos / eletrodomésticos no período t.

Para a estimação do ACR, será utilizado como fator preço de bens eletrodomésticos o índice de preço ao produtor (IPP), mensurado pelo IBGE, o que engloba preços de aparelhos elétricos e eletroeletrônicos, porém, com o preço dado ao produtor, com base no último trimestre de 2016. Podemos usar isso de forma a contemplar setores residenciais, comerciais e industriais, que compõe o ACR. Para o preço, neste caso, será usada a tarifa média em âmbito nacional, deflacionado pelo IGP-DI, da Fundação Getúlio Vargas (com base no último trimestre de 2016), como uma média do valor praticado dentre as distribuidoras de energia com base em regulamentações da Agência Nacional de Energia Elétrica.

Para o caso do ACL, usaremos o IPP em duas bases: Material Elétrico (na nossa função inicial tida como o parâmetro  $Pe_t$ ) e Máquinas e Equipamentos (representado por  $Pem_t$ ), de forma a contemplar o parâmetro diferenciador do consumo de material elétrico dos principais demandantes do mercado livre. Para o preço, será utilizado o PLD – preço de liquidação de diferenças – como uma *proxy* do preço, pois o valor praticado diretamente com o consumidor não é divulgado. Deve ser deixado claro que o PLD, calculado pela CCEE, tem como base de cálculo as condições hidrológicas dos reservatórios de usinas hidrelétricas; demanda de energia total do setor; valor dos preços de combustíveis (empregado em termoelétricas); o custo de déficit dos geradores de energia; entrada de novos projetos de investimento; e na disponibilidade de equipamentos de geração e transmissão. O modelo de precificação obtém o despacho de geração que seja mais adequado ao referido período, e assim

define a geração hidráulica e térmica para cada submercado. Através desse processo são obtidos os Custos Marginais de Operação (CMO) para o período e para cada patamar de carga e submercado. O Programa *Newave* é o responsável por realizar estas estimativas<sup>4</sup>. O PLD então não é um parâmetro de preços tradicional, obtido pela oferta e pela demanda dos agentes, pois tem sua base nas condições hidrológicas dos reservatórios de usinas, assim como os despachos feitos em termoeletricas.

O PIB per capita trimestral foi usado como fator de renda em ambos os casos, também deflacionado pelo IGP-DI, com base no último trimestre de 2016. Os valores de consumo foram divididos pelo número de unidades consumidoras, e todos os parâmetros foram log-linearizados, como parte do tratamento dado a função de produção padrão. Diferentemente do que fora assumido em outros trabalhos sobre o tema, vamos supor aqui que, a partir do momento que o agente ingressa no mercado livre, o acesso único a uma fonte energética é através de eletricidade, desconsiderando outras formas (como gás natural ou carvão). Foram utilizados dados de base trimestral, a partir do primeiro trimestre de 2010 ao último trimestre de 2016.

A equação final que obteremos será da seguinte forma:

$$C_t = \phi_1 + \phi_2 p_t + \phi_3 y_t + \phi_4 p e_t \quad (3)$$

Onde os valores de consumo, renda e preços de materiais elétricos ( $c_t$ ,  $p_t$ ,  $y_t$ , e  $p e_t$ ) são os logaritmos dos respectivos coeficientes da equação [2]. O valor de  $\phi_2$  é a elasticidade preço da demanda por energia elétrica,  $\phi_3$  é a elasticidade renda, e  $\phi_4$  a elasticidade por bens eletrodomésticos em cada uma das categorias de referência. Espera-se valores negativos para os coeficientes relativos a preços e positiva para o caso da renda, usando como base a teoria do consumidor e resultados de trabalhos sobre o setor. O valor de  $\phi_2$  refere-se ao impacto no consumo dada uma variação marginal no preço, como efeito de um choque direto. O coeficiente  $\phi_3$  mostra o impacto direto no consumo de eletricidade dada uma variação na renda per capita do país, com efeito positivo. Isso implica que uma maior variação no PIB implica em um aumento no consumo de energia por consequências no aumento do consumo de bens

---

<sup>4</sup> O programa *Newave* é utilizado pela CCEE para determinar o PLD usando modelos matemáticos específicos para avaliar o preço através das condições do mercado.

eletrodomésticos, por parte dos consumidores comerciais e residenciais, e queda na capacidade ociosa da produção, ampliação de maquinário e acionamento de novas máquinas, no caso do setor industrial brasileiro. O parâmetro  $\phi_4$  é a elasticidade do consumo referente a variação nos preços de bens eletrodomésticos, com um adicional no mercado livre dado pelo preço de máquinas, utilizadas especialmente na indústria.

### 2.3 Estimação das Demandas

Embora o método tradicional de Mínimos Quadrados Ordinários possa nos trazer bons parâmetros na equação de demanda, como feito sob um teste em Lima e Schmidt (2004), o método não pode ser aqui empregado devido a problemas de endogeneidade, ocorrendo através da correlação positiva entre preço e quantidade consumida, e isto nos traria problemas de viés e inconsistência nos estimadores. Assim sendo, o modelo do tipo VAR (vetorização autorregressiva) é indicado por corrigir estes elementos. Na sequência, apresentamos os testes de raiz unitária de forma que se possa testar a ordem de integração das variáveis em estudo. Usaremos o teste ADF (Dickey-Fuller aumentado). Como exposto anteriormente, as variáveis estão em formato logarítmico. Inicia-se a análise pelo ambiente de contratação regulado:

**Tabela 1.** Teste ADF - ACR

Variável	Equação	Ordem de defasagem	p-valor de teste	Estatística-t
$c_t$	constante e tendência	(1)	0,05768	-3,35461
$\Delta c_t$	constante e tendência	(1)	0,00001*	-8,66084
$p_t$	constante e tendência	(0)	0,885	-1,2237
$\Delta p_t$	sem constante	(0)	0,001913*	-3,30459
$y_t$	constante e tendência	(0)	0,03716**	-3,7329
$\Delta y_t$	sem constante	(0)	0,00001*	-5,69788
$pe_t$	constante e tendência	(0)	0,8887	-1,20701
$\Delta pe_t$	sem constante	(0)	0,01263**	-2,56097

Nota: Os asteriscos correspondem aos níveis de significância, (\*) significância a 1% e (\*\*) significância a 5%. A significância ou não ocorre através do p-valor e do respectivo grau de significância.

Sob as informações obtidas a partir da Tabela 1, com exceção ao parâmetro de renda, todas as demais são não estacionárias sob característica do seu formato logaritmo puro. Dessa forma, extraímos a primeira diferença de todos os termos da equação de forma a remover a característica estacionária. A partir de então, observa-se que a ordem de integração das séries é igual a 1 (ou I[1]). Após a extração da primeira diferença tornamos as séries como I[0]. Como todas são estacionárias em igual ordem, partimos para a verificação de indícios da existência (ou não) de uma eventual relação de co-integração entre as séries, de forma a encontrar a função final que as relacione. Como primeiro passo, vamos definir o grau de defasagens a ser utilizado através da ferramenta de seleção de defasagens específicas do modelo VAR a ser empregado aqui:

**Tabela 2.** Seleção de defasagens do Sistema VAR – ACR

defasagem	AIC	BIC	HQC
1	-6,182765	-5,686837	-6,065939
2	-7,130339	-6,436039*	-6,966782
3	-7,236693*	-6,344022	-7,026406*
4	-7,099965	-6,008923	-6,842949
5	-7,156606	-5,867192	-6,852858

Nota: Os asteriscos abaixo indicam os melhores (isto é, os mínimos) valores dos respectivos critérios de informação. AIC = critério de Akaike, BIC = critério Bayesiano de Schwarz, e HQC = critério de Hannan-Quinn.

A indicação bayesiana de Schwarz nos indica uma defasagem de  $p=2$ , enquanto o critério de Hannan-Quinn indica uma defasagem de  $p=3$ . O critério de Akaike segue a mesma informação do parâmetro anterior. Devido ao número de observações empregado, assim como garantir a eficiência do modelo, selecionamos o critério de Schwarz como principal critério de seleção de defasagens no intuito de preservar o tamanho de nossas amostras, pois evitaremos a perda de graus de liberdade, além de questão de parcimônia. A defasagem será  $p=2$  para o caso do ACR. A seguir, de forma a verificar a co-integração das variáveis, fez-se o teste traço ( $\lambda$ -traço, ou teste de Johansen). Foram obtidos os seguintes resultados<sup>5</sup>:

---

<sup>5</sup> O número de observações é igual a 28, considerado baixo para alguns modelos de estimação. Para este caso, o intervalo obtido responde satisfatoriamente aos testes.

**Tabela 3.** Teste  $\lambda$ -traço – ACR

$\lambda$ -traço			$\lambda$ -max		
H0	H1	Estatística de teste	H0	H1	Estatística de teste
$r = 0$	$r > 0$	56,517*	$r = 0$	$r = 1$	43,334*
$r \leq 1$	$r > 1$	13,182	$r = 1$	$r = 2$	13,182

Nota: “r” é o posto de co-integração. (\*) referem-se a valores cuja hipótese nula é rejeitada, estatisticamente significativa a 95%.

Os resultados do teste de Johansen atesta que não rejeitamos a hipótese nula de co-integração de nossas variáveis, pois se conclui que o posto de co-integração é  $[r=1]$ . Temos então que existe uma relação entre elas, e a equação do vetor normalizado é dada pela seguinte forma:

**Quadro 1.** Teste  $\lambda$ -traço – ACR

$C_t = -0,128p_t + 0,09121y_t - 0,0047pe_t$ $(0,0105)^* \quad (0,0060)^{**} \quad (0,9592)$		
$R^2 = 0,929145$	E.P da reg. = 0,030595	D.W = 1,557

Nota: Os valores entre parênteses referem-se aos níveis de significância de cada variável. Para (\*) e (\*\*), os valores são significativos a 5% e 1%, respectivamente.

As estatísticas obtidas para especificação e precisão do modelo nos indicam que o modelo é não-viesado e nos traz boas estimativas. Não foram encontrados problemas de autocorrelação (Teste de Breusch-Godfrey) ou heterocedasticidade (Teste de White) nos resíduos. Os parâmetros estimados para o ambiente de contratação regulado seguem padrão semelhante aos resultados obtidos empiricamente em testes da função de produção tradicional em trabalhos anteriores.

A elasticidade preço da demanda (-0,128) possui valor negativo no intervalo  $[-1,0,1]$ , através de uma leve queda do consumo reagindo a um aumento nos preços, garantindo um comportamento inelástico. Devemos salientar aqui que a flutuação de preços está intimamente ligada às condições hidrológicas e de oferta de energia. O caráter hidrotérmico da matriz energética brasileira condiciona a variação de preços à hidrologia e índices pluviométricos favoráveis para a manutenção da tarifa média. Em períodos de escassez de chuvas, e conseqüente acionamento de térmicas (com custo de operação substancialmente



maior), o preço se eleva para o consumidor final para garantir a solubilidade operacional das distribuidoras, que vêm seus CMO's se elevarem devido às condições adversas. Durante a vigência da Medida Provisória 579, que forçou a redução de preços, pode-se verificar a não existência de variações consideráveis sobre o consumo, o que corrobora a hipótese de uma inelasticidade preço da demanda.

O consumo aumenta com uma conseqüente elevação na renda (0,0912), nesta que é a elasticidade renda da demanda: citamos o exemplo de uma maior aquisição de bens eletrodomésticos (ar-condicionados, por exemplo) oriundos de uma melhora nas condições de compra dos agentes do setor ocasionado por um subsequente aumento na atividade econômica, o que estimula a aquisição de novos bens, explicado pela expansão do consumo, mantendo também um comportamento inelástico muito em parte por causa das baixas taxas de crescimento do PIB per capita no período analisado, assim como constantes oscilações de um trimestre para o outro. Nos anos de 2014-2015, a disponibilidade de crédito ao consumidor sofreu um momento de retração, o que impossibilitou a aquisição de produtos da “linha branca” e influenciou a retração do consumo, forçando a uma estagnação da renda.

Por fim, um aumento nos preços de bens eletrodomésticos (-0,005) reduz o consumo no ACR, o que faz sentido se usarmos o pressuposto de uma contração da demanda por materiais elétricos resultados a partir de um aumento nos respectivos preços, embora com resultado significativamente baixo, e justamente por esse fator foi o único dos parâmetros que não foi considerado estatisticamente significativo. Podemos concluir aqui que o fator de renda se sobrepõe ao fator de preços de bens eletrodomésticos, uma vez que o aumento na renda influi no consumo de eletricidade através de uma maior renda disponível.

A seguir, faremos o procedimento para o caso do ACL, com o adicional de preços de máquinas e equipamentos:

**Tabela 4.** Teste ADF - ACL

Variável	Equação	Ordem de defasagem	p-valor de teste	Estatística-t
$c_t$	constante e tendência	(0)	0,9898	-0,191717
$\Delta c_t$	constante	(0)	0,06675***	-2,83857
$p_t$	constante e tendência	(0)	0,7163	-1,71558
$\Delta p_t$	sem constante	(0)	0,0003*	-4,0335
$y_t$	constante e tendência	(0)	0,03716**	-3,7329

$\Delta y_t$	sem constante	(0)	0,001913*	-3,30459
$pe_t$	constante e tendência	(0)	0,8887	-1,20701
$\Delta pe_t$	sem constante	(0)	0,01263**	-2,56097
$pem_t$	constante e tendência	(0)	0,4095	-2,32084
$\Delta pem_t$	sem constante	(0)	0,01165**	-2,59425

Nota: Os asteriscos correspondem aos níveis de significância, (\*) significância a 1%, (\*\*) significância a 5% e (\*\*\*) significância a 10%. A significância ou não ocorre através do p-valor e do respectivo grau de significância.

Na Tabela 4 ficam evidentes as semelhanças com os resultados obtidos na Tabela 1. O PIB per capita e a série de IPP de material elétrico são as mesmas. O consumo, específico para o ACL, possui comportamento semelhante ao ACR, embora a oscilação não seja padronizada entre ambas devido à uniformidade ocasionada pela sazonalidade e capilaridade climática verificada no ambiente regulado. Neste caso, o consumo está ligado às variações no PIB do país. Pode-se incluir também as expectativas dos agentes de consumo (inseridas no fator de consumo final), onde uma maior percepção de aumento produtivo futuro afeta as expectativas de consumo devido a ampliação (ou não) da capacidade ociosa e expansão da produção. Por ser uma variável pró-cíclica, em períodos de contração ou estagnação do produto nacional, o consumo energético segue o mesmo comportamento. Partimos então para a seleção de defasagens do modelo VAR para o caso do ambiente livre.

**Tabela 5.** Seleção de defasagens do Sistema VAR – ACL

defasagem	AIC	BIC	HQC
1	-3,270182*	-3,023335*	-3,208100*
2	-3,228878	-2,932662	-3,154380
3	-3,156598	-2,811012	-3,069684
4	-3,144185	-2,749231	-3,044855
5	-3,161442	-2,717118	-3,049696

Nota: Os asteriscos abaixo indicam os melhores (isto é, os mínimos) valores dos respectivos critérios de informação. AIC = critério de Akaike, BIC = critério Bayesiano de Schwarz, e HQC = critério de Hannan-Quinn.

Será mantida a preferência pelo critério de Schwarz pelos mesmos motivos discutidos no caso do ambiente regulado. Aqui, a indicação bayesiana de Schwarz nos indica

uma defasagem de  $p=1$ , sendo seguida pelos valores de Hannan-Quinn e Akaike. Com os critérios apontando a mesma conclusão, nossa defasagem será  $p=1$  para o caso do ACL. É pertinente explicitar aqui a diferença com o grau de defasagem no modelo do ACR: com uma variável adicional para este caso, e conseqüente aumento no número de observações total com o acréscimo desta, a precisão do modelo tende a aumentar pelo grau de explicação que esta adição possa trazer ao nosso modelo principal. Desta forma, no cálculo dos critérios de informação, uma eventual perda de graus de liberdade é amenizada e ocasiona a convergência dos critérios apresentados na Tabela 5.

Isso posto, verificaremos o eventual comportamento de co-integração das variáveis, usando o teste traço ( $\lambda$ - traço). Foram obtidos os seguintes resultados:

**Tabela 6.** Teste  $\lambda$ -traço – ACL

$\lambda$ -traço			$\lambda$ -max		
H0	H1	Estatística de teste	H0	H1	Estatística de teste
$r = 0$	$r > 0$	11,456*	$r = 0$	$r = 1$	9,8843*
$r \leq 1$	$r > 1$	1,5114	$r = 1$	$r = 2$	1,5714

Nota: “r” é o posto de co-integração. (\*) referem-se a valores cuja hipótese nula é rejeitada, estatisticamente significativa a 90%.

Os resultados do teste de Johansen para o ACL também atesta que não rejeitamos a hipótese nula de co-integração de nossas variáveis, pois se conclui que o posto de co-integração é  $[r=1]$ . Temos então que existe uma relação entre elas, e a equação do vetor normalizado é dada pela seguinte forma:

**Quadro 2.** Teste  $\lambda$ -traço – ACL

$C_t = -0,02p_t + 0,029y_t - 0,0279pe_t - 4,86pme_t$		
$(0,4514) \quad (0,0003)^* \quad (0,9660) \quad (0,0001)^*$		
$R^2 = 0,998$	E.P da reg. = 0,1139	D.W = 0,5

Nota: Os valores entre parênteses referem-se aos níveis de significância de cada variável. Para (\*) os valores são significativos a 1%.

As estatísticas obtidas para especificação e precisão do modelo nos indicam que o modelo é não-viesado e nos traz boas estimativas. Não foram encontrados problemas de

autocorrelação e heterocedasticidade nos resíduos, sendo utilizados os mesmos testes do caso anterior.

No ambiente livre, observe o baixo impacto do PLD (-0,02) no consumo, e concluído como estatisticamente não significativo. Este resultado é compreensível, pois o preço real praticado é contratado diretamente entre os agentes, e não pelo PLD, existindo ainda um leve impacto. Isso é explicado, mais uma vez, devido ao fato de o PLD ser determinado pelas condições hidrológicas do país, e não pela tradicional lei da oferta e demanda. O modelo hidrotérmico do parque elétrico brasileiro e o fator base de determinação de preços de curto prazo implicam o descolamento entre a produção de energia entre o ACL e o consumo efetivo. Como o PLD é o preço de liquidação de energia por eventual excesso de energia contratado por uma comercializadora ou comprador livre, o excedente energético não utilizado pela contratante é liquidado na CCEE, com o PLD da semana. Evidentemente, isso não implica uma conexão com a expectativa de consumo energético de um agente consumidor. O resultado obtido pela estimação do quadro 2 vai de encontro com esta realidade.

A elasticidade renda neste caso (0,29) é maior que no setor regulado, por motivos evidentes: a sensibilidade de um aumento da atividade produtiva da economia afeta fortemente empresas de diversos setores produtivos, levando a um maior consumo de energia devido à expansão do consumo de seus bens, estimulando sua produção. E como parte das expectativas empregadas pelos agentes no planejamento de médio e longo prazo de consumo energético, uma projeção de aumento na renda do país impacta significativamente a demanda por energia quando da realização deste aumento.

O preço de materiais elétricos (-0,027) aqui possui um impacto muito baixo explicado basicamente pelo fato de os agentes deste setor demandarem equipamentos de maior complexidade. O valor é também não-significativo estatisticamente, como consequência de seus baixos valores. O consumo de materiais elétricos, neste caso, tem seu uso mais concentrado em setores de serviços, que correspondem a uma baixa participação no ACL. Dessa forma, caso fosse analisado o caso específico do setor de serviços no ambiente livre, possivelmente os resultados seriam outros.

Finalmente, observe o impacto ocasionado pelo preço de máquinas e equipamentos (-4,86). Por se tratarem de bens de produção (geralmente caros) uma alta nos preços desses bens faz com que empresas não os demandem, causando um substancial choque no consumo de energia. Isso pode ser atrelado a evolução da renda nacional, pois um aumento no PIB e conseqüente necessidade de expansão da capacidade produtiva leva as empresas a adquirirem

estes bens. Os setores que mais consomem energia no ACL são, respectivamente, Metalurgia (22,77%); Minerais metálicos e não metálicos (13,77%); Químicos (12,97%); Bebidas e Alimentos (11,52%); e Madeira, Papel e Celulose (8,24%), respondendo conjuntamente por quase 70% do consumo do ambiente livre. É um resultado curioso pelo tamanho do impacto causado no modelo, mais do que o aumento no PIB per capita que, num primeiro momento, supunhamos como sendo o principal parâmetro da função. O alto valor deste parâmetro, também estatisticamente significativo, não foi encontrado em nenhum outro estudo sobre demandas do setor elétrico, sendo então um resultado interessante para uma discussão relativa ao comportamento dos agentes consumidores no mercado livre.

## 2.4 Considerações Parciais

Neste capítulo foram estimadas as elasticidades de demanda para os consumos nos ambientes regulado e livre do setor elétrico brasileiro. Os resultados aqui obtidos, cujo tratamento de dados e formulação metodológica que agregam um conjunto de hipóteses necessárias para a elaboração e estimação do modelo demonstram um novo olhar sobre as estimativas já realizadas em outras obras. De forma diferenciada, tratou-se do setor elétrico de forma mercadológica, colocada sob o olhar do marco institucional de 2004. A repartição em nichos de mercado colocados por esta alteração nos leva a crer que o governo vai buscar impulsionar o tamanho do mercado livre, levando a cabo uma série de mudanças de forma a facilitar o acesso ao mercado livre por parte dos grandes consumidores de energia. Assim sendo, o cenário proposto para um novo setor livre de energia deve levar em consideração os resultados elementares deste trabalho.

No que se refere às elasticidades preço, a condição de inelasticidade retoma a discussão sobre a natureza de “bem público” dado a energia elétrica como bem e ao setor elétrico como um todo: não rival e não exclusivo, sendo dever da união promover a inclusão de agentes e a qualidade no acesso à rede. O preço em si é fator não determinante para o incremento no consumo, principalmente pelo fato de, como vimos, não possuir um bem substituto no ambiente regulado. Para o caso do ambiente livre, o PLD como sendo uma *proxy* leva consigo a informação de “mercado” de ser tão somente um coeficiente de curto prazo, pois é somente um parâmetro de decisão no ato de liquidação de excedentes energéticos por parte dos agentes consumidores livres.

Ficou claro que a conexão positiva existente entre o aumento da renda e o consumo de eletricidade nos dois ambientes justifica a expansão do parque gerador brasileiro, uma vez

que uma melhoria dos níveis de renda do país, associado a um processo de melhoria do acesso a bens de consumo eletrodomésticos eleva de forma consistente o consumo energético.

No tocante às elasticidades preços de materiais elétricos, em ambos os casos, este não é um fator de impacto determinante no consumo dos agentes. Podemos pensar da seguinte forma: com o acesso à renda e uma melhora nas condições de crédito para financiamento dos agentes consumidores, é irrelevante para a decisão de gasto para aquisição de um bem eletrointensivo, tanto por consumidores residenciais, pelos setores agrícolas, de serviços e industriais, que a necessidade de um maior consumo oriunda daquela maior restrição orçamentária é condição mínima para a melhora da utilidade dos agentes. Uma família não se importa muito com o preço de uma televisão ou geladeira, mas é fundamental que as tenham em casa. O mesmo pode ocorrer para os outros casos.

No caso da elasticidade preço por máquinas e equipamentos, a necessidade de expansão produtiva dos agentes (especialmente naqueles setores citados como os maiores consumidores do mercado livre de eletricidade) resultante de um aumento no consumo interno, e até mesmo para exportação (essencialmente para os casos dos setores químicos e madeira, papel e celulose), torna-se necessária para atender esta demanda. Assim sendo, o consumo de bens de capital e maquinário específico (como o caso de metalurgia e bebidas e alimentos) impactam de forma consistente o consumo energético. A partir dos resultados aqui obtidos, fica clara a importância desse fator, muito embora o resultado final desse parâmetro tenha sido, comparando-o com os resultados de outros estudos assim como a própria estrutura do modelo estatístico aqui empregado, um tanto exagerado.

Em comparação com os trabalhos de Lobão e Andrade (1997) e Lima e Schmidt (2004), as elasticidades preço e renda da demanda tiverem semelhança no que diz respeito aos baixos parâmetros obtidos em ambos os casos, corroborando a hipótese de que o setor de eletricidade brasileiro possui comportamento inelástico para o consumo elétrico. O modelo aqui utilizado já é um padrão consagrado entre as obras de estimação de demanda para o setor elétrico, não se resumindo somente para os casos em nível de Brasil. No caso do artigo de 2004, que estimou as elasticidades dos setores residencial, comercial e industrial, as semelhanças ocorrem nas duas primeiras estimações, e os resultados podem ser interpretados como respostas ao parâmetro chamado aqui de “regulado”, por convergência nas soluções dos coeficientes. O caso industrial se assemelha ao chamado aqui de “livre”, embora os termos não possam ser confundidos. Também, há diferenças consideráveis no tamanho de impacto ocasionado pelos fatores determinantes de consumo. O artigo de 1997, analisando somente o caso residencial,

também se interpreta com resultados semelhantes aos obtidos neste capítulo. Segue uma tabela de comparação das elasticidades entre os três trabalhos:

**Quadro 3.** Comparações de resultados

Setor	Lobão e Andrade (1997)			Lima e Schmidt (2004)			Fraga e Silva (2017)		
	Elastic. Renda	Elastic. Preço	Elastic. Mat. Elétrico	Elast. Renda	Elastic. Preço	Elastic. Mat. Elétrico	Elastic. Renda	Elastic. Preço	Elastic. Mat. Elétrico
Residencial	0,213	-0,05	-0,186	0,539	-0,085	-0,148	-	-	-
Comercial	-	-	-	0,635	-0,174	-0,294	-	-	-
Industrial	-	-	-	1,717	-0,128	-0,669*	-	-	-
Regulado	-	-	-	-	-	-	0,29	-0,02	-0,027**
Livre	-	-	-	-	-	-	0,091	-0,128	-0,004

Notas: (\*) Uma estimação também foi feita usando um parâmetro de preço de um bem substituto a eletricidade. Omitimos da tabela pela assunção de que, uma vez no mercado de eletricidade, esta será insumo único. (\*\*) Existe também o parâmetro de máquinas e equipamentos, não adicionada por aspectos comparativos.

Observe que a elasticidade renda, à exceção do caso industrial do trabalho de 2004, segue um padrão inelástico para todos os casos. A elasticidade preço é também inelástica em todos os cenários. A elasticidade de materiais elétricos é a que mais varia dentre os coeficientes: para os casos residencial (1997), industrial (2004) e livre (2017), onde a oscilação se deve por padrões de comportamento de consumo específicos de cada setor. O texto de 2004 também possui a elasticidade substituição por um bem substituto a eletricidade, cujo valor é -0,026, considerado inelástico. O trabalho de 2017 considera a elasticidade preço de máquinas e equipamentos e, como visto, igual a -4,86, considerado substancialmente alto.

Por fim, cabe destacar que outras variáveis podem compor a nossa função principal, tal como o número de eletrodomésticos nas residências, a substituição de eletricidade por outras fontes energéticas, para os casos onde o setor industrial está presente, assim como alguma variável binária que impacte a diferença do peso regulatório entre o ACR e ACL. Entretanto, estes fatores não seriam o escopo deste capítulo, servindo como sugestão para outras pesquisas que se proponham a abordar o tema.

### **3 ASPECTOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA BRASILEIRO E ELASTICIDADES PRODUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE**

A geração de eletricidade brasileira fundamenta-se no arcabouço regulatório básico oriundo da reforma de 2004, embora a definição da matriz energética com foco voltado às energias de base hidrelétrica tenha suas origens a partir do fim do século XIX, com a construção da Usina Hidrelétrica de Marmelos, na cidade de Juiz de Fora, sendo a precursora do modelo brasileiro dado pelo manancial hidráulico vigoroso encontrado nos cursos fluviais do país, que posteriormente fora incluído nas políticas públicas de desenvolvimento do sistema elétrico.

A partir da substituição de postes a gás/querosene por redes elétricas públicas e consequente industrialização do Brasil, deu-se início à corrida por instalação e ampliação de sistemas elétricos, inicialmente localizados e primariamente regionalizados em várias regiões do país. A centralização do planejamento e execução de obras de infraestrutura de usinas hidroelétricas e térmicas por parte do governo federal (de forma monopolizada) moldou a expansão do parque gerador ao longo da segunda metade do século XX. No mesmo período, é iniciado o projeto para a instalação da Usina de Angra I, que forneceria eletricidade através de fissão nuclear e diversificaria a matriz elétrica, garantiu o acesso a esta nova fonte energética. Deu-se então a opção brasileira por um modelo hidroelétrico, dada as condições de especialização produtiva desta forma de geração através da abundância de fontes que a possibilitaram.

Neste capítulo, será explorada a opção brasileira em seu estágio atual, investigando as suas origens assim como suas componentes e determinantes, de forma que se possa avaliar a dinâmica concernente a geração de eletricidade e as variáveis que a compõe. Ao final da parte exploratória, serão estimadas as elasticidades produção dentre as formas de energias adotadas no país, usando para isso o *Método por variáveis instrumentais* (IV, da sigla inglesa) para verificar a participação de cada uma das formas componentes da matriz elétrica brasileira.

Os resultados obtidos concluem sobre a importância do fator hidroelétrico e a ascensão de energias renováveis na base elétrica brasileira.

#### **3.1 Modelo Centralizado e Desregulamentação**

O atual modelo brasileiro passou por profundas mudanças ao longo dos últimos anos. Dada a necessidade de se efetivar o crescimento do país em uma rota sustentável, era



imperativo que o fornecimento de energia andasse de mãos dadas com o produto interno. De forma a garantir este objetivo e resguardar a atuação dos agentes participantes do sistema, optou-se por reformar o setor em sua estrutura, através de choques institucionais.

Até 1940, a lenha e carvão natural eram as principais formas de geração de eletricidade, cobrindo mais de 80% da demanda (EPE, 2013). A posterior industrialização massiva do país demandou um esforço maior por outras formas energéticas, sendo então o consumo de petróleo e álcool os principais insumos de geração de energia, basicamente para o transporte. A centralidade administrativa e de fornecimento de eletricidade por parte do governo federal perdurou até início dos anos 90.

Antes disso, as principais características do setor eram:

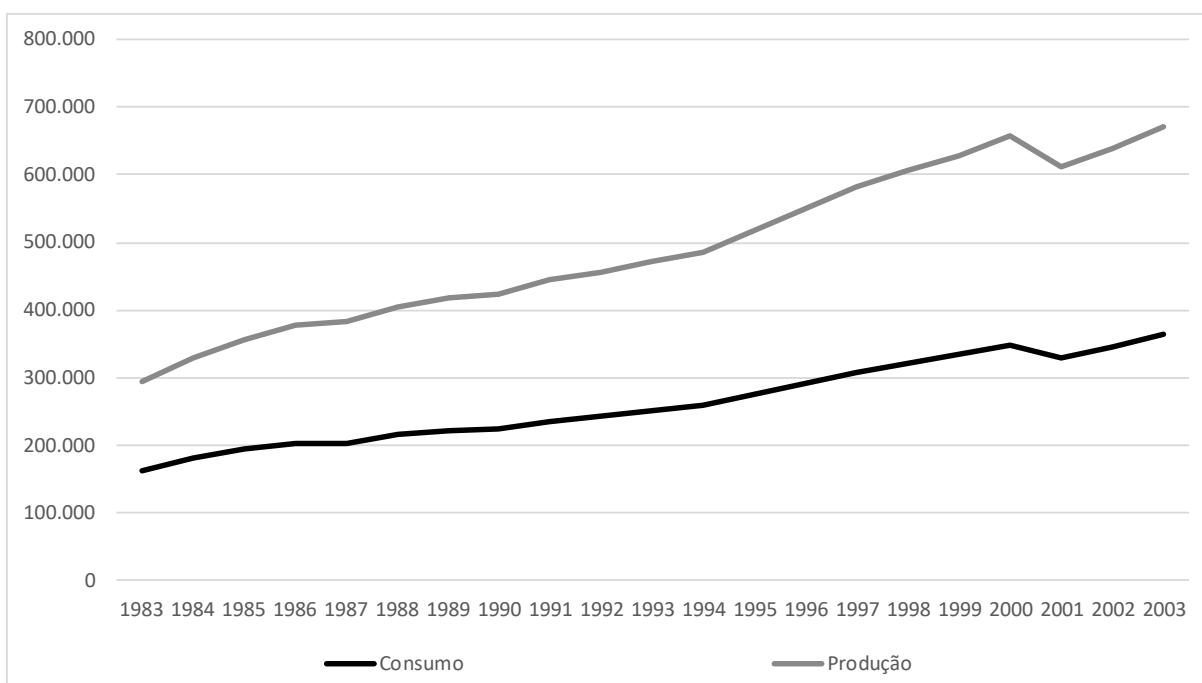
- Planejamento e expansão do parque gerador centrado a partir de decisões exclusivas da União Federal.
- A distribuição de energia era centralizada pelos estados da União, onde cada ente federativo possuía sua própria comercializadora para atender suas demandas.
- Modelo de capital intensivo universal e operação verticalizada: as distribuidoras estaduais podiam gerar, transmitir, distribuir e comercializar energia. Além disso, a atuação era quase exclusivamente feita por empresas estatais.
- Mercado absolutamente regulado, onde o método de aplicação de preços se dava por equalização tarifária.

Muito embora antes da década de 90 a participação privada ocorresse na geração de energia, esta era restrita a autoprodução, produção independente e regionalizada. A primeira cidade brasileira que conseguiu produzir e programar a própria eletricidade foi Manaus, embora a primeira cidade eletrificada do país tenha sido Campos, no estado do Rio de Janeiro, ao fim do século XIX.

A reforma ocorrida na década de 90 buscava ampliar a produção, assegurar a efetividade e qualidade na transmissão, expandir acessos da rede elétrica e garantir a segurança do suprimento. Assim sendo, foram adotadas medidas de desverticalização na produção e fornecimento, assim como acionado o modelo via privatização de estatais com o objetivo de buscar a redução de tarifas através da competição entre os agentes (geração e comercialização). A criação de agências, como a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e o ONS (Operador Nacional do Sistema) visava garantir a discricção na atuação dos agentes e o decoro da dinâmica de mercado.

A desregulamentação na geração feita de forma desordenada, a falta de planejamento para com as empresas que adquiriram antigas estatais geradoras e problemas na hidrologia do país levaram, no começo do século XXI, a uma crise de energia. Esta crise, denominada “apagão” surgiu a partir da queda da produção energética resultante de uma combinação de fatores tais como: incapacidade de investir em geração, problemas hidrológicos oriundos de um período de forte seca que reduziu a disponibilidade de água nos grandes reservatórios de usinas, além da situação crítica das linhas de transmissão, incapazes de conectar plenamente os sistemas do Sul e Sudeste do país com as demais regiões do país, especialmente o Norte e Nordeste.

**Gráfico 4.** Consumo e Geração de eletricidade de 1983 a 2003, em GW/h.



**Fonte:** ELETROBRAS.

A queda na geração de eletricidade fica clara no Gráfico 4: entre os anos de 2000 e 2001 ocorreu uma grave queda na produção. Em consequência disto, o governo tomou medidas taxativas sobre o consumo de eletricidade com o propósito de contê-lo. As tarifas de energia aumentaram consideravelmente. Campanhas de conscientização pelo uso racional de energia foram adotadas, assim como medidas radicais, tais como cortes em estabelecimentos e residências que tivessem uma determinada cota excedida; foi criada também os chamados *encargos de capacidade emergencial*, também chamado de “seguro-apagão”, cujo abatimento era feito diretamente nas contas de eletricidade. Em resposta a essas medidas, o consumo de

eletricidade sofreu uma queda suave neste mesmo período, onde as providências de racionamento perduraram desde a metade do ano de 2001 até o começo de 2002.

O leitor pode se perguntar, através das informações do Gráfico 4: se a produção de energia é substancialmente superior ao consumo, porque ocorreu o problema do “apagão”? Há, no mínimo, duas formas de se responder a essa pergunta. Primeiro, devemos ter clara a diferença entre *demanda de energia* e *energia assegurada*. O primeiro caso se refere à quantidade de energia exigida por um determinado mercado consumidor e que pode ser projetada *a priori* e efetivada *a posteriori*, a partir de um sistema de geração e distribuição que atenda suas especificações. O segundo caso, segundo a ANEEL (2013), “*é a máxima produção de energia que pode ser mantida (quase) continuamente pelas usinas hidrelétricas ao longo dos anos*”, estimando-se através de simulações sobre a ocorrência de inúmeras possibilidades de vazões e sangramento de reservatórios, criadas por ferramentas estatísticas, onde se assume que haja certo risco de não se atender a carga, onde podem ocorrer períodos de racionamento nos anos (bases) de simulação, restrito a um limite tolerado pelo sistema. Com base nas definições acima, coloca-se então uma terceira e última definição: a *Energia Firme*, que é a energia média gerada por uma usina dado seu ciclo hidrológico ao longo do período de um ano, tendo como parâmetro uma demanda máxima.

Assim, a energia assegurada pode diferir da energia firme, que conseqüentemente não atende à demanda final, gerando blecautes e levando ao racionamento. Foi neste ponto, aliado à falta de investimentos na expansão do parque transmissor e ampliação da matriz geradora, em conjunto ao crescimento do produto (que está positivamente ligada ao consumo de energia) que se chegou a crise de 2001.

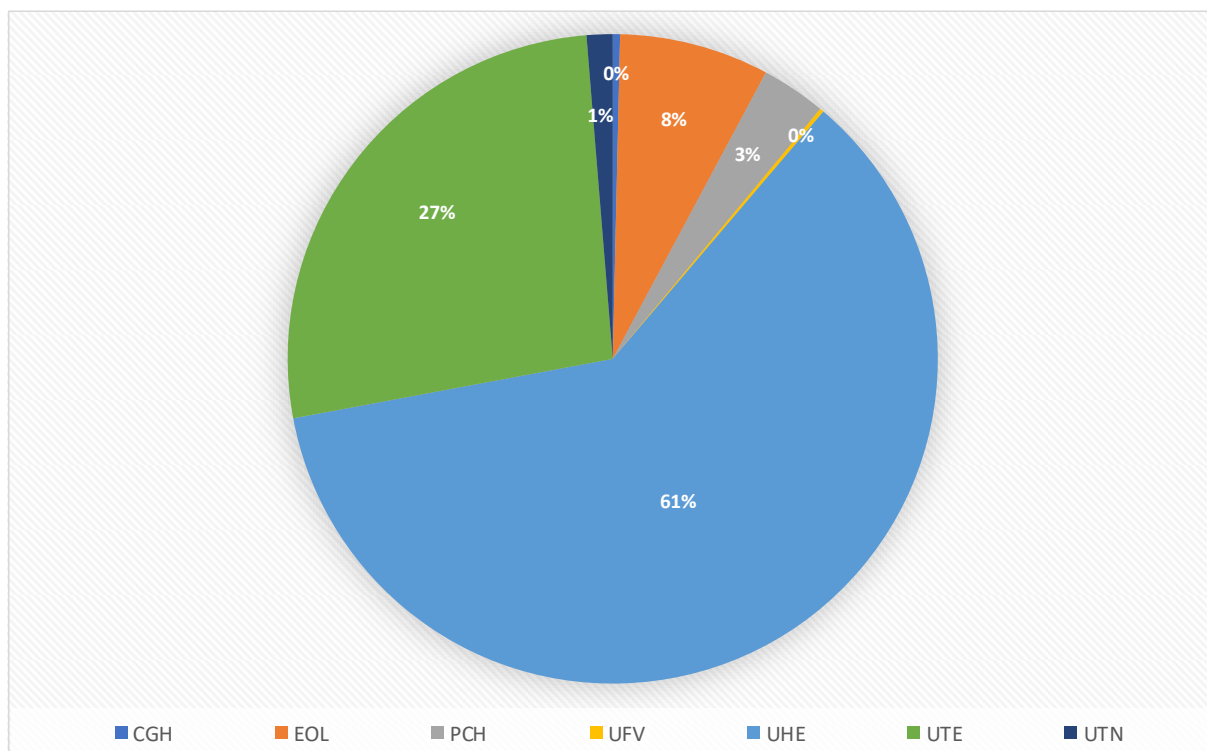
### **3.2 Geração de Eletricidade Sob o Novo Marco Regulatório**

A reforma de 2004 visava corrigir os problemas da reforma anterior. Para isso, um estudo massivo que visava encontrar soluções e estratégias para o setor foi feito pelo novo governo, empossado em 2003. Como resultado destes trabalhos, foi elaborado um novo marco setorial, sendo reconhecida a hidroeletricidade como a principal fonte de geração de energia no Brasil. Através da ferramenta de leilões, o governo puxou para si a responsabilidade planejar e expandir o parque gerador e fiscalização de entidades atuantes; a geração contava com a participação de agentes privados e públicos (em especial a ELETROBRÁS); a transmissão mantinha o papel de único “monopólio natural”, devido à modicidade de contratação e

prestação de serviços; foi reforçada e incentivada a atribuição do autoprodutor independente de energia; e o estímulo a diversificação de fontes produtoras, através de P&D e importação de tecnologias (ainda provida pela reforma de 1998, mas reforçada neste período).

Tinha-se que a especialização em hidroeletricidade, oriundo dos modelos anteriores a 98, impedia a implantação de usinas eólicas e solares (por exemplo) devido ao baixo conhecimento que se tinha a época sobre estas formas de geração, assim como o pouco interesse em diversificação em virtude do fenômeno de especialização produtiva em hidroeletricidade e termoeletricidade. Posteriormente, reconheceu-se o potencial eólico (em especial nas regiões Sul e Nordeste) e solar (principalmente no Nordeste), além da inclusão no sistema de pequenas centrais hidroelétricas, tidas como uma alternativa às grandes centrais devido ao custo de produção e impactos ambientais. A partir deste período, em virtude do novo marco, verifica-se um da participação de fontes de base renovável na composição da matriz elétrica brasileira, em especial devido ao papel desempenhado pelo PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica) sob o Decreto nº 5.025, de 2004, com o objetivo de diversificar a base de fornecimento elétrico no Sistema Interligado Nacional (SIN), de forma a reduzir a dependência da hidroeletricidade e os problemas por ela ocasionados. No ano de 2016, a composição da matriz elétrica brasileira era descrita da seguinte forma:

**Gráfico 5.** Composição da Matriz de Geração de Eletricidade em 2016, por Fonte.



Fonte: ANEEL.

Como pode-se observar no Gráfico 5, a participação predominante segue sendo o formato de geração hidráulico de usinas de grande porte (UHE), com 61% da geração global, sendo seguida pela forma termoeétrica (UTE) onde a maioria destas usinas sendo acionadas em momentos de baixa hidrologia, com composição equivalente a menos da metade do caso anterior, 27%. As formas renováveis, em conjunto equivalem a 12% da eletricidade produzida no país. As matrizes que a compõem são: Eólicas (EOL), 8%; Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), cerca de 3%; Termonuclear (UTN), 1%; Centrais Geradoras Hidroelétricas (CGH) e, Fotovoltaicas (UFV) com menos de 1% de participação cada uma. A quantidade de empreendimentos por fonte no ano de 2016 é mostrada a seguir:

**Tabela 7.** Composição da Matriz de Geração de Eletricidade em 2016, por Fonte.

<b>Empreendimentos em Operação</b>				
<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência Outorgada (kW)</b>	<b>Potência Fiscalizada (kW)</b>	<b>%</b>
CGH	618	562.368	564.824	0,37
EOL	470	11.551.739	11.512.743	7,46
PCH	431	4.970.991	4.955.175	3,21
UFV	60	386.248	359.151	0,23
UHE	219	101.188.678	93.877.884	60,82
UTE	2.933	42.494.226	41.099.661	26,63
UTN	2	1.990.000	1.990.000	1,29
<b>Total</b>	<b>4.733</b>	<b>163.144.250</b>	<b>154.359.438</b>	<b>100</b>

**Fonte:** Banco de Informações de Geração (BIG), ANEEL.

Como sendo de produção mais simples, além do caráter emergencial de estabelecimento da potência em períodos de hidrologia ruim (complementando as UHE), o número de térmicas espalhadas no país supera a participação de qualquer outra fonte, segundo informações da ANEEL, obtidas na Tabela 7.

As maiores taxas de crescimento de oferta por fonte são observadas em empreendimentos eólicos e em pequenas centrais hidrelétricas somando quase 11%. A participação de termonucleares segue tímida, muito em conta dos riscos oriundos de sua operação, embora seja considerada uma energia de caráter renovável. Unidades de centrais hidrelétricas e fotovoltaicas possuem as menores taxas de crescimento: sua participação é de fundamental importância na elaboração de estudos de geração distribuída, cuja produção localiza-se próximo aos centros consumidores de energia, reduzindo custos de transmissão e evitando perdas devido à defasagem energética nas linhas caso o centro consumidor fosse

distante. Destaca-se também a substituição de insumos para geração em termoelétricas onde combustíveis fósseis, caros, como o carvão e derivados do petróleo, vem sendo trocados por matérias-primas mais baratas, como o gás natural e a biomassa.

A agência reguladora nacional, em seu arcabouço regulatório distingue as usinas hidrelétricas nos formatos de CGH, PCH e UHE, usando para isso a potência instalada no empreendimento, assim como o tamanho e capacidade do respectivo reservatório<sup>6</sup>:

**Quadro 4.** Potência e dimensão de reservatórios de Usinas Hidrelétricas, conforme normas de 2016.

Potência Instalada	
CGH	Até 1 MW.
PCH	Entre 1,1 MW e 30 MW
UHE	Mais de 30 MW
Dimensão dos Reservatórios	
CGH	Não possui reservatório. Utiliza-se uma barragem para alterar o curso d'água.
PCH	Máximo de 3km <sup>2</sup> .
UHE	Maiores que 3km <sup>2</sup> .

**Fonte:** ANEEL.

Uma colocação que deve ser deixada clara é a distinção da forma de consumo assumido a partir da subdivisão entre os mercados livre e regulado: no mercado livre, o contratante de energia negocia com o gerador, podendo escolher a fonte energética na qual sua demanda será suprida. O governo oferece incentivos para demandantes do mercado livre que optam por comprar energia de fontes sustentáveis, chamados de *Consumidores Especiais* cuja demanda seja superior a 500kW e não exceda 3MW. Lembrando que aqui se supõe que a energia oriunda de grandes centrais hidroelétricas (UHE) não será tratada como sustentável, por critérios de diferenciação no ato da contratação e forma de geração, assim como pelo formato em que será abordada na estimação das elasticidades produção.

Muito embora a terminologia do Ambiente de Contratação Livre (ACL) contenha o termo “livre”, essa proposição é relativa visto que mesmo este ambiente possui uma estrutura institucional fortemente regulada, de onde se permite a contratação e liquidação de eletricidade por parte dos agentes. O diferencial essencial em comparação com o mercado regulado, além

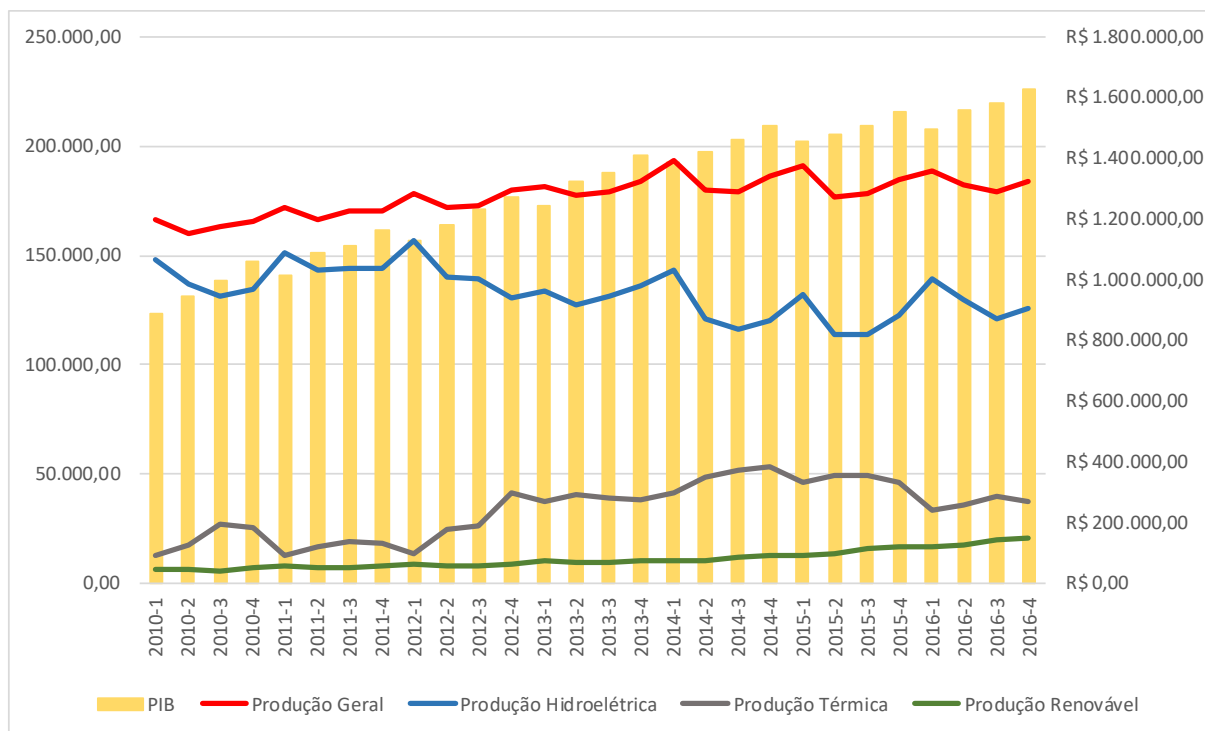
---

<sup>6</sup> Usinas que operam no formato de fio d'água não necessitam de reservatório, por se tratar de usinas que usam o fluxo de água corrente de um rio, geralmente em um trecho mais elevado ou através da construção de uma barragem que permita a movimentação das turbinas.

da tensão e carga mínima demandada, reside no ato de negociação do preço da aquisição de energia, sendo definido entre as partes. Após isso, um agente que contrate energia no mercado livre usa da estrutura física já existente de uma transmissora (monopólio natural) e de uma distribuidora (cuja área de atuação pode englobar um determinado consumidor que pertenceu antes ao Ambiente Regulado no período anterior a instauração do novo modelo). Em virtude disso, assim como para correto funcionamento do mercado de contratação, o ACL possui um rigoroso arcabouço jurídico regulatório na parte de geração.

Para o caso do mercado regulado de eletricidade (ACR), o consumidor final não possui a liberdade de selecionar a fonte energética pela qual consumirá, estando este papel a cargo da distribuidora, assim como não tem “liberdade” determinada pelo preço “barato”. Então, o consumidor residencial (por exemplo) utiliza energia que pode ser solar, eólica, térmica ou hidroelétrica, sem saber sua real origem. Como o consumo de energia está ligado ao crescimento da renda (representado diretamente pelo crescimento do PIB do Brasil), pressupõe-se um aumento da base energética, levando a uma eventual diversificação do parque gerador (Fraga e Silva, 2017).

**Gráfico 6.** Geração de eletricidade e Produto Nacional (MW/h – eixo esquerdo; R\$ – eixo direito).



Fonte: ANEEL, ELETROBRÁS, BACEN.

Conforme o crescimento do produto se consolida, o aumento da participação de energias renováveis se estabelece como um processo contínuo. A partir do interesse nacional em diversificar a matriz energética e a consequente concentração em pesquisas e desenvolvimento tecnológico promovido pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI); ANEEL, através do seu programa de P&D; e pelo Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (CEPEL), a dependência por hidroeletricidade se contrai.

No Gráfico 6, no período base de análise neste trabalho, o PIB trimestral manteve uma rota de crescimento contínuo. Observa-se que, de forma geral, somente a produção renovável mantém-se ascendente. Os períodos de hidrologia deficitária e consequente acionamento de térmicas podem ser verificados: onde há queda na produção hidroelétrica, há igual compensação em um aumento de produção térmica, existindo então uma correlação inversa entre uma e outra. Além disso, a geração total é uma função que corresponde diretamente a geração hidráulica, dado que esta forma equivale a mais de 70% da produção de energia.

Uma questão a ser levantada seria a premissa do porquê não se manter uma determinada região sendo atendida somente por estações eólicas e/ou solares: no primeiro caso, a sazonalidade do vento em um determinado período do dia poderia não corresponder à sua demanda pois as condições geológicas e climáticas na qual se inserem, para a condição brasileira, não permitem uma constância do vento em um período de 24 horas. Logo, seja ao longo do dia ou da noite, a produção de energia se contrairia, causando blecautes. No segundo caso, com a tecnologia convencional, não se pode estocar a energia produzida pelo sol ao longo do dia para se usar em períodos da noite ou em dias nublados. Dessa forma, assim como no primeiro caso, as usinas térmicas são usadas como uma complementação do fornecimento para atendimento da demanda.

Outro ponto a ser colocado é a questão da dicotomia entre industrialização densa e produção energética no que diz respeito a alocação de recursos hídricos. Usa-se o exemplo da região do Nordeste do Brasil, que passa desde a segunda metade do século XX por um período intenso de industrialização. A região é sabidamente reconhecida com um grande potencial para produção de energia, de várias matrizes. Entretanto, o recurso “água” é limitado em diversas regiões, por decorrência do clima semi-árido, o que torna sua alocação um desafio. Dois fatos são destacados para caracterizar este problema: o processo industrial adotado (intensivo em água) exige grandes quantidades deste recurso para a produção de manufaturas, limpeza e manutenção de máquinas e estruturas físicas. Por outro lado, a produção de energia, seja por



via hidráulica ou térmica, demanda igualmente grandes volumes de água. Adiciona-se também o consumo humano e uso agrícola de água, porém, com uma demanda relativamente menor.

Torna-se então imperativo uma oferta de energia que não tenha água como elemento fundamental para sua produção. É a partir deste ponto que a ampliação do parque eólico e solar se tornam chaves para o desenvolvimento da região, muito embora existam as premissas colocadas anteriormente. Por fim, salienta-se a importância do desenvolvimento de tecnologias que dispersem estas adversidades.

### **3.3 Perspectivas de Geração de Eletricidade no Brasil**

O ingresso de novas tecnologias e aprimoramento de técnicas na área de geração de energia permite gradativamente que se produza um nível maior de eletricidade com um custo de operação menor. É sabido que um dos maiores desafios da infraestrutura brasileira de energia está concentrado na transmissão de eletricidade, visto às dimensões continentais do país (certamente, o aprimoramento das linhas permitiria um melhor aproveitamento da carga gerada). O Plano Decenal de Energia (PDE – 2026), em seu Capítulo III, aborda a geração de eletricidade em perspectiva, e questiona os direcionamentos de investimentos e expansão do parque produtor como sendo por parte de um planejamento centralizado.

De forma alternativa às propostas anteriores, “a *expansão ótima da oferta de energia elétrica do PDE 2026 é obtida por meio da minimização dos custos de investimento e operação*”, usando para isso modelos computacionais utilizados pela EPE para organizar a estrutura básica do modelo e elaborar simulações que projetem os custos e seus impactos a partir da elaboração de plantas de usinas usadas em sua expansão ou criação de uma nova, a serem determinadas pelo MME. No Capítulo IX do plano, existem estudos sobre eficiência energética e geração distribuída, cujo impacto seria eminentemente no consumo.

Sobre novas tecnologias e processos no setor elétrico brasileiro podem ser aqui destacados: inserção de tecnologia da informação para o consumo, através de *Smartgrids*; projetos de geração solar por Energia Fotovoltaica e Heliotermia, com possibilidade de “estocagem” de energia solar; processos de Geração Distribuída; incentivos de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias através do programa de P&D da ANEEL; e interesse do governo brasileiro em ampliar o mercado livre de energia.

### **3.3.1 *SmartGrid (SG)***

O sistema por *SmartGrid* envolve a adoção do uso da tecnologia de informação para mensurar os níveis de consumo de uma determinada unidade consumidora e organizar o seu plano de consumo, assim como o planejamento de produção energética. Com o intuito de aperfeiçoar o uso do recurso “energia” e consequente redução de custos, o *SmartGrid* já é uma ferramenta adotada em grandes pontos de consumo da Europa e Ásia. A energia consumida é analisada e enviada de forma remota para a distribuidora ou diretamente ao consumidor, no caso livre. Pode-se também conectarem-se fontes de geração distribuída na rede através do SG, especialmente eólica e solar. Tem-se que a sua completa implementação seja a tendência no momento onde a discussão de substituição energética é a principal nos debates sobre eficiência, neste caso pela ótica do consumo.

### **3.3.2 *Geração por Heliotermia (Concentrating Solar Power)***

Tida como uma das formas de geração de energia do futuro, a produção por heliotermia tem sua planta mais complexa localizada no sul da Espanha, e já provou sua eficiência e rentabilidade. Através da instalação de uma torre central que reflete os raios solares em painéis receptores em uma extensão circunferencial à sua base, esta forma de geração necessita de uma área larga (regiões áridas e semiáridas são potenciais) para introdução dos painéis fotovoltaicos. Evidentemente, esta área será de uso exclusivo da usina, não sendo recomendada sua instalação sobre áreas produtivas ou em grandes centros urbanos.

É sabido sobre o potencial da região Nordeste do Brasil para a implementação de usinas para geração heliotérmica. A região, cuja predominância da emissão de raios solares ao longo do ano e na qual possui terras improdutivas para a agricultura, permitem a execução de projetos para sua inserção. Outro destaque desta matriz é a possibilidade de armazenamento térmico, utilizando um fluido de aquecimento para manter o funcionamento da usina em períodos de ausência de radiação solar. Existe um projeto-piloto para a implementação de uma mini usina na cidade de Petrolina, estado de Pernambuco, resultado de um acordo entre os governos brasileiro e alemão.

### **3.3.3 Geração Distribuída**

O modelo por Geração Distribuída (GD), no período recente, assumiu um papel ascendente nos debates sobre produção elétrica, cujo plano de fundo envolve a redução de custos de transmissão de energia, com subsequente redução de perda energética oriunda das transmissões de longa distância proporcionada pela geração centralizada (normalmente de grandes centrais hidrelétricas), além de um emprego pleno da base renovável (em especial, eólica e fotovoltaica). A adoção específica de GD, com módulos de microgeração conectadas diretamente ou próximos ao centro de consumo tem o intuito de aproveitar o potencial de geração de uma determinada fonte energética, assim como a estrutura de sua localidade. Por exemplo, o potencial solar e eólico no Brasil representa uma ampla possibilidade de implementação de microgeração através de módulos solares em prédios e residências, assim como a instalação de aerogeradores onde haja bom fluxo de vento para a sua realização. Evidentemente, deve-se manter uma fonte de geração alternativa conectadas ao sistema devido às premissas destas formas energéticas, já expostas anteriormente.

### **3.3.4 Programa de P&D da Aneel**

A iniciativa do lançamento do programa de pesquisa e desenvolvimento da ANEEL partiu por parte do governo federal com o intuito de promover e incentivar as buscas de novas tecnologias para o setor de forma a reduzir sua dependência energética e tecnológica. Também, buscava elevar a produtividade e a redução de emissões de gases do efeito estufa, oriundas das matrizes de produção de eletricidade atualmente instaladas no país. Regulado por esta agência, os projetos gerenciados e incentivados que contemplam esta medida “*são aqueles destinados à capacitação e ao desenvolvimento tecnológico das empresas de energia elétrica, visando à geração de novos processos ou produtos, ou o aprimoramento de suas características*” (ANEEL, 2012). São gerenciados diretamente pela empresa, através de uma estrutura financeira própria e gerenciamento tecnológico oriundo de sua capacidade interna.

O objetivo do programa é “*alocar adequadamente recursos humanos e financeiros em projetos que demonstrem a originalidade, aplicabilidade, relevância e a viabilidade econômica de produtos e serviços, nos processos e usos finais de energia*” (ANEEL, 2012). Os

projetos apresentados à agência reguladora são analisados e, se viáveis, são disponibilizados recursos para sua execução, apoiados também na disponibilidade de crédito para fazê-lo. Destaca-se a disponibilidade de linhas de crédito específicas para projetos de microgeração, geração distribuída e inovação para empresas do setor elétrico.

### ***3.3.5 Ampliação do Mercado Livre de Energia***

Anteriormente, enunciou-se a divisão em dois nichos de mercado no ambiente de contratação de energia elétrica em regulado e livre. Mediante esta divisão, existe uma postura recente por parte do governo federal em ampliar o mercado livre de energia, reduzindo a carga mínima necessária para seu ingresso gradualmente nos próximos anos. Sob a consulta pública 33, realizada pelo Ministério de Minas e Energia em 2017, fica evidente o interesse de alteração no marco regulatório do setor para alcançar este objetivo. Através desta alteração, haveria uma migração massiva de agentes que sairiam do ambiente regulado para o ambiente livre por causa de seus incentivos, inchando o seu tamanho e respectiva demanda energética.

No ambiente livre, a separação entre agentes livres e incentivados se daria através das estratégias de consumo específicas de cada agente. No caso incentivado, no qual existiria um considerável aumento de demanda, seu fornecimento ocorre por energias “*incentivadas*”. Existiria então um aumento na demanda por energias exclusivamente fornecidas por esta base e levaria o governo a ampliar o número de leilões de eólicas, assim como acelerar o processo de instalação de unidades fotovoltaicas ao redor do país. Estas são expectativas que atualmente são discutidas por agentes do setor.

### **3.4 Elasticidades Produção da Produção de Energia Elétrica no Brasil**

Nesta sessão será exposta a metodologia e a estimação das elasticidades produção da produção de energia elétrica no Brasil, usando como base as três fontes anteriormente mencionadas: hidrelétrica, térmica e renovável. Dessa forma, pode-se analisar o impacto da expansão do parque gerador brasileiro sob a ótica da geração, apoiando-se nas expectativas da construção de um novo modelo de base renovável, partindo do já tradicional modelo hidrotérmico. Exposta a parte descritiva, que orienta as decisões de geração assim como agrega às expectativas de investimento dos agentes e do governo, parte-se para o desenvolvimento do modelo aqui empregado, que conclui sobre a corroboração da contribuição hidrelétrica (como

sendo uma especialização produtiva, adotada no século passado) e a evolução da participação de renováveis, partindo do pressuposto de substituição da base energética na matriz brasileira, fenômeno este que ganha fôlego a cada novo de leilão de energia nova.

### 3.4.1 Metodologia e Estimação

Usaremos uma metodologia específica para estimar as elasticidades produção dentre as formas de geração energética da matriz elétrica. Os parâmetros embutidos na função de produção geral serão decompostos através das bases energéticas entre hidráulica, térmica e renovável (eólica, fotovoltaica, e pequenas centrais hidrelétricas). Inserem-se nestas categorias em grandes áreas as formas de base semelhante, mas de fonte diferente como, por exemplo, o caso de energia nuclear, inserida no nosso caso em energia termoelétrica. Usaremos como referência a função de Cobb-Douglas padrão, alterando os coeficientes de forma a apropriá-la para esta situação.

$$Y_t = KH_t^{\sigma_1} T_t^{\sigma_2} R_t^{\sigma_3}, \text{ onde } \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3 > 0, \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \leq 1 \quad (4)$$

Na equação [4] tem-se a função de produção composta por  $H$ ,  $T$  e  $R$ , representando as fontes de fornecimento hidráulico, térmico e renovável, respectivamente, em função do tempo.  $K$  é uma constante relacionada aos parâmetros. Os valores dos “ $\sigma$ ’s” são as elasticidades produção de produção energética, em sua forma simples. Supõe-se neste caso uma perfeita substitutibilidade entre as formas de fornecimento, dado a necessidade do bem “eletricidade”, mantendo-se a hipótese de uma substituição conjunta equivalente à unidade. Por esse motivo, não usaremos uma função *Constant Elasticity of Substitution (CES)*, onde se poderia verificar o comportamento desta função com variação no grau de substituíbilidade de cada um dos parâmetros, não sendo este o objetivo aqui.

Como parte do tratamento da função de produção padrão log-linearizamos a função [4], que fica da seguinte forma:

$$\log(Y_t) = \log K + \sigma_1 \log H_t + \sigma_2 \log T_t + \sigma_3 \log R_t \quad (5)$$

A metodologia a ser usada para identificação dos parâmetros será o *Método de Variáveis Instrumentais (VI)* estimados por Mínimos Quadrados em Dois Estágios (MQ2E). Este método será usado para correção de problemas de endogeneidade das variáveis componentes do modelo. Os dados utilizados têm base em pareceres da agência reguladora através de relatórios anuais dos anos de 2010 a 2016, coletados com periodicidade trimestral.

Os instrumentos utilizados para as variáveis principais foram obtidos a partir primeira diferença da regressão, onde os fatores têm correlação positiva com a respectiva variável de estudo (explicativas do modelo) e correlação nula com a variável explicativa. Antes disso, será feito um teste de *Dickey-Fuller* aumentado (teste ADF) para analisar o comportamento das variáveis em seu valor observado e o valor da sua primeira diferença.

**Tabela 8.** Teste ADF para a função de produção de energia elétrica no Brasil.

Variável	Equação	Ordem de defasagem	p-valor de teste	Estatística-t
$Y_t$	Constante	(0)	0,2415	-2,11269
$\Delta Y_t$	Sem constante	(0)	0,0001*	-6,30982
$H_t$	Constante e tendência	(0)	0,0595**	-3,50041
$\Delta H_t$	Sem constante	(0)	0,0001*	-5,88099
$T_t$	Constante	(0)	0,2007	-2,23056
$\Delta T_t$	Sem constante	(0)	0,0001*	-5,45939
$R_t$	Constante e tendência	(0)	0,1059	-3,19787
$\Delta R_t$	Sem constante	(0)	0,0001*	-4,39337

Nota: Os asteriscos correspondem aos níveis de significância, (\*) significância a 1% e (\*\*) significância a 10%.

Sob as informações obtidas a partir da Tabela 8, com exceção ao parâmetro de produção hidroelétrica, todas os demais são não estacionários sob característica do seu formato logaritmo puro. Dessa forma, extraímos a primeira diferença de todos os termos da equação de forma a remover a característica estacionária. A partir de então, observa-se que a ordem de integração das séries é igual a 1 (ou I[1]). Após a extração da primeira diferença tornamos as séries como I[0] e usando os parâmetros da diferença como instrumentos, estimamos a função final de produção de eletricidade da seguinte forma:

**Quadro 5.** Estimação da função de produção por Variáveis Instrumentais.

$Y_t = -3,2413 + 0,57685H_t + 0,10323T_t + 0,10553R_t$ <p style="text-align: center;">(0,0620)*    (0,0001)***    (0,0182)**    (0,0001)**</p>		
R <sup>2</sup> = 0,902484	E.P da reg. = 0,015941	D.W = 0,666285

Nota: Os valores entre parênteses referem-se aos níveis de significância de cada variável. Para (\*), (\*\*) e (\*\*\*), os valores são significativos a 10%, 5% e 1% respectivamente.

As estatísticas obtidas para especificação e precisão do modelo nos indicam que o ele é não-viesado e nos traz boas estimativas. Não foram encontrados problemas de autocorrelação e heterocedasticidade nos resíduos. Um teste por VI usando estimação por *Método dos Momentos Generalizados (GMM)* foi realizada, alcançando os mesmos valores que os do Quadro 5.

Os resultados apontam uma situação já esperada para a estrutura de produção de eletricidade no Brasil. A participação maior (e conseqüentemente uma elasticidade produção maior) oriundo da base hidrelétrica responde por uma sensibilidade de *0,577* na matriz de produção elétrica, o que indica que seu grau de substitutibilidade é maior comparada aos outros dois fatores. Com uma participação modesta e baixa oscilações na produção agregada, a elasticidade da base térmica alcançou um índice de *0,103* na matriz de produção, o que indica um grau de substitutibilidade baixo comparado aos outros fatores. Este valor indica o receio em apostar nesta fonte pelos seus impactos ambientais e custos oriundos de sua operação.

O valor estimado para a base renovável indica um resultado interessante: embora seja a menor participação na produção agregada, o seu crescimento nos últimos anos, levada a cabo pela mudança de políticas de incentivo destas formas de produção de eletricidade, resultou em uma elasticidade produção superior ao de base termoelétrica, *0,106*. Este resultado corrobora a hipótese de que o cenário contemporâneo de inovações na área de energia renovável, e conseqüentes benefícios deste fenômeno, além do retorno em preservação ambiental e social, elevam as taxas marginais de produção técnica para esta forma de produção em comparação com outras formas, inclusive o caso hidroelétrico, o que eleva a sensibilidade do choque deste parâmetro na produção agregada de eletricidade. O fator constante foi incluído neste trabalho por questões de especificação do modelo, obtendo os bons resultados. Entretanto, muito embora seu valor seja alto e estatisticamente significativo este não possui função analítica relevante para os outros parâmetros.

Os resultados aqui estabelecidos são verificados na realidade do setor, onde impera a concepção de que a elaboração de um novo arranjo institucional que incentive energias renováveis torna-se cada vez mais tangível, especialmente em um momento onde aquecimento global e o questionamento sobre estoques limitados de petróleo e seu papel como combustível base do sistema capitalista norteiam as discussões sobre os rumos da economia global.

### 3.5 Considerações Parciais

As mudanças ocorridas no período recente do setor elétrico brasileiro elencaram, de forma modesta, diversos fatores que alteraram profundamente sua estrutura e formato institucional. De forma a aperfeiçoar a dinâmica do sistema e fornecer uma energia a baixo custo, oriundos de uma melhor produtividade decorrente de inovação tecnológica, as reformas recentes deixaram mais flexíveis as relações entre gerador e distribuidor. A ascensão de novos paradigmas de consumo e produção, especialmente no que tange as energias renováveis reiteram a preocupação pertinente ao aquecimento do planeta e demais questões ambientais, pautadas primordialmente por entidades não governamentais que pressionam líderes mundiais para que esta agenda os ocupe, ganhando apoio popular para esta tarefa.

No caso brasileiro, é evidente o conflito existente entre o atual modelo hidrotérmico, já estabelecido e tido como uma especialidade do país na geração de eletricidade, frente ao panorama proposto pelo formato de energias renováveis. Cada vez mais esta forma de energia ganha força, impulsionada muito mais pelos seus benefícios do que propriamente pelos custos resultantes do seu funcionamento dado a sua inserção no ambiente composto primordialmente por grandes hidrelétricas, supridos por térmicas.

As elasticidades produção estimadas neste trabalho buscam acentuar a discussão sobre o papel de fontes renováveis na matriz elétrica, de forma que sua participação e impacto na produção final sejam formalizados, uma vez que seguem como tendência para os próximos anos, especialmente motivadas pela importação de tecnologias que as proporcionem. A alta elasticidade produção do parâmetro referente à hidroeletricidade era esperado pela predominância de sua participação na produção agregada.

O resultado, quando se comparam os parâmetros de térmicas e renováveis, indica que o coeficiente para esta última é mais participativo para a variável explicada que o primeiro componente. Esperava-se o resultado inverso, pois a participação de base térmica é substancialmente maior ao caso renovável, ficando claro nos gráficos antes expostos que não existe correlação entre renovável e hidrelétrica ou térmica, mas existindo uma correlação entre hidrelétricas e térmicas.

Como exposto anteriormente, a base utilizada para modelagem foi uma função Cobb-Douglas simples, onde se supõe um fator de substituição de insumos de um para um. Fica



aqui como sugestão para outros trabalhos a possibilidade de variação deste fator de substituição, empregando-se assim uma função do tipo *CES*.

Conforme a tendência de leilões de energia nova e reserva especialmente para energias incentivadas se intensifique, evidentemente ter-se-á uma alteração drástica nas composições referentes à produção de eletricidade no Brasil, e certamente as estimativas aqui colocadas devam ser revistas.

## **4 MAPEAMENTO E SIMULAÇÃO DA FUNÇÃO DE BEM ESTAR PARA OS MERCADOS REGULADO E LIVRE DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO**

A economia neoclássica analisa a energia e o meio ambiente como insumos em atividades de consumo ou produção. Segundo Kemfert e Truong (2009), *“a energia é um insumo produzido a partir de recursos (como combustíveis fósseis), e o meio ambiente também é considerado um insumo que pode atuar como um coletor para os resíduos da atividade de produção”*. O fornecimento restrito e o ambiente natural não renovável de inúmeros recursos energéticos limitam a capacidade da economia de sustentar o crescimento de longo prazo. Ainda segundo os autores, o ambiente natural também tem uma capacidade limitada para absorver “resíduos” de atividades econômicas e, portanto, isso pode atuar como uma restrição ao crescimento econômico sustentável de longo prazo. Eles concluem que *“um dos objetivos da modelagem econômico-ambiental de energia é encontrar os limites (se houver) ao crescimento econômico em longo prazo, decorrente de energia limitada e recursos ambientais”*.

Motivado pelo debate acerca dos benefícios da adoção de energias de matriz renovável, este trabalho espera obter como resultados para a formalização da real existência de um bem-estar maior em se adotar energia renovável como sendo base da renovação da matriz energética brasileira. Entretanto, um ponto deve ficar claro: muito embora esta hipótese aqui colocada possa ser efetivada, é necessário manter uma base de energia térmico-hidrelétrica (base do modelo atual) para que seja garantida a segurança energética do país. Por exemplo: existem picos de demanda para o uso desse tipo de energia, que é basicamente utilizada no mercado livre, como se fosse um incentivo para a migração dos agentes para o ACL, de forma a obter uma energia com um custo menor, o que é proporcionado especialmente por matriz eólica e solar.

Entretanto, a capacidade de geração dessas formas de produção é limitada a sazonalidade do seu componente gerador principal. A energia solar funciona somente de dia, e a eólica é dependente dos períodos de sazonalidade dos ventos ao longo do dia. Então, a proposta final deste trabalho não é radicalizar o modelo atual a partir da adoção desta forma energética, mas garantir, formalmente, a existência de um bem-estar melhor em nível social e econômico.

### **4.1 Modelo, Metodologia e Simulação**

Utilizou-se a função de bem-estar proposta por Kemfert e Truong (2009):

$$W = \int_0^{\infty} \left[ \frac{1}{1 - \frac{1}{\sigma}} C_t^{1 - \frac{1}{\sigma}} \right] e^{-\rho t} dt \quad (6)$$

Onde  $\sigma$  é a elasticidade produção entre as formas de energia. Em nosso caso, estamos somente substituindo o fator de produção, o que não gera danos ao modelo devido às condições de primeira ordem referente ao uso do fator “energia” como insumo de produção,  $C_t$  é o consumo no tempo  $t$ , e  $\rho$  é um parâmetro de depreciação, também em função do tempo.

A função [6] deriva de um modelo de produção neoclássico do tipo *top-down*. Por simplicidade, assumimos aqui que existe apenas um setor (sendo então o ACR e o ACL trabalhados separadamente); portanto, pode ser considerado o consumo total de energia em cada setor. Na abordagem tradicional da economia de energia, a variável de ambiente não é considerada de forma explícita ou equivalente; é um recurso "gratuito", com custo zero, portanto, sua presença na função de produção pode de fato ser ignorado. O objetivo da economia é simplesmente maximizar esta função de bem-estar.

O principal problema aqui é a taxa ideal de depleção (de energia) de recursos, para sustentar o crescimento econômico e o consumo no longo prazo. Ocorre que um dos fatores cruciais dos parâmetros que determinarão a resposta da questão do crescimento sustentável para a economia vem da elasticidade produção entre capital e energia. Se essa elasticidade de produção é maior ou igual a um, então o crescimento econômico sustentável e o consumo são alcançados mesmo se o recurso de energia estiver no fornecimento fixo.

Quando a elasticidade de produção é inferior a um, isso implica que há retornos crescentes no processo de produção de capital humano para recurso natural de energia. Dessa forma, em uma economia sustentável, o crescimento ainda pode ser alcançado se o progresso tecnológico compensar o efeito de retornos decrescentes. Se, no entanto, tanto a elasticidade da produção de capital e energia é menor que um (retornos decrescentes) e o progresso tecnológico não é suficiente para compensar este efeito, o crescimento e o consumo econômico a longo prazo não serão sustentáveis devido à oferta limitada de energia.

Colocadas estas hipóteses referentes a Função [6], far-se-ão novas suposições para enquadrarmos este modelo ao objeto de estudo deste trabalho. Inicialmente, a elasticidade produção entre capital e energia na função de produção é igualada a um, de forma que o estoque de energia em um momento  $t$  seja fixo. Outra suposição é a exclusividade do tratamento de energia na função de bem-estar, considerada por efeitos analíticos somente a substituição entre formas energéticas, uma vez que o escopo desta monografia reside somente nessas

comparações. O dilema entre capital e energia se mantém em uma função de produção padrão a ser maximizada, cuja equação de bem-estar é sua respectiva restrição. Entretanto, não é este o objetivo deste trabalho, ficando desta forma como sugestão para outras obras.

A Função [6] resolvida fica da seguinte forma:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left[ \frac{t \sigma C_t^{1-\frac{1}{\sigma}}}{(\sigma-1) e^{\rho t}} \right] \quad (7)$$

O consumo em  $t$ ,  $C_t$ , separados entre ACR e ACL foram obtidas no primeiro capítulo, a saber:

1) Demanda no ACR:  $C_t = -0,128p_t + 0,09121y_t - 0,0047pe_t$

2) Demanda no ACL:  $C_t = -0,02p_t + 0,029y_t - 0,0279pe_t - 4,86pme_t$

Para ambos os casos na função [7] serão utilizados os valores simulados a partir destas funções. As elasticidades produção de energia,  $\sigma$ , encontram-se no capítulo 2, cujos resultados encontram-se da seguinte forma:

**Tabela 9.** Elasticidades Produção da Matriz de produção de eletricidade.

Hidroelétricas	Termoelétricas	Renováveis
0,57685	0,10323	0,10553

Fonte: Resultados do Quadro 5.

Os valores acima não se distinguem entre ACR e ACL sendo, portanto, entendido como parâmetros representativos para a produção de eletricidade como um todo. Apesar de seus valores serem coerentes, a não divisão entre os dois setores pode ser equivocada, uma vez que os respectivos custos de distribuição e transmissão entre um ambiente e outro são consideravelmente distintos. Para o caso deste trabalho, assume-se a contratação de energia diretamente no mercado de geração, antes da assunção de custos de transmissão e distribuição. Assim sendo, a diferenciação entre o ACR e o ACL se dará diretamente na sua função de demanda, que no mercado real ocorreria a partir do ato de contratação de eletricidade.

O parâmetro de depreciação  $\rho$  iniciou-se em 0,01 a partir da primeira observação, indo até 0,28 referente a última observação. Os resultados da integral serão aproximados através

de uma função de somatório e os resultados finais estarão em módulo por se tratarem de uma medida de área de bem-estar.

Por fim, os resultados das simulações de bem-estar para o mercado de energia elétrica brasileiro possuem os seguintes parâmetros:

**Tabela 10.** Valores de Bem-Estar nos Ambientes de Contratação Regulado e Livre.

Ambiente/Base energética	Hidrelétricas	Termoelétricas	Renováveis
ACR	30,9337	1,463	1,5169
ACL	14,8297	0,00032	0,00041

Fonte: Elaboração Própria.

## 4.2 Interpretação dos Resultados

Os valores simulados respondem bem as formas em somatório e em integral, com convergência nos resultados de ambos os métodos. Optou-se pelo formato em soma por conveniência no tratamento dos dados, assim como equivalência teórica entre os dois métodos. Iniciaremos nossa análise pelo ambiente de contratação regulado, seguido pelo ambiente livre e, por fim, será feita uma análise para o setor como um todo.

### 4.2.1 Ambiente de Contratação Regulado

O ambiente regulado, ou mercado cativo, possui a maioria dos demandantes de energia do país. Como dito anteriormente, não há uma distinção explícita da fonte de energia na qual a eletricidade utilizada por estes agentes (finais) se dá no ato de liquidação. A compra de energia se dá por parte das distribuidoras, sendo vendida ao consumidor final normalmente. O agente final não sabe (e nem se importa com isso) se a eletricidade por ele usada é eólica, solar, hidro, térmica ou qualquer outra fonte. Como a compra de energia pela distribuidora no ambiente livre pode estar suscetível a variações no preço ocasionado por um eventual fenômeno de escassez de chuvas e afluições nos níveis dos reservatórios, o respectivo acionamento de térmicas, naturalmente, eleva o preço final. É nesse ponto que entra a importância de um aumento da participação de fontes de energias renováveis.

Nos resultados apresentados pela Tabela 10, observa-se que quando se compara o bem-estar para o caso das renováveis com as térmicas: o nível de bem-estar para as fontes renováveis é maior [1.5169], contra [1,463]. Naturalmente, a fonte hidroelétrica tem um nível

absolutamente superior às demais [30,9337], o que corrobora a hipótese de uma especialização desta base energética pelos seus impactos no preço de energia, aliada a uma geologia especial encontrada no território nacional, que permite sua ampliação. O caso das renováveis também encontra respaldo quando se leva em conta o imenso potencial eólico e solar (em especial, na costa brasileira), assim como pequenas centrais hidrelétricas (espalhadas pelo interior de todo o Brasil).

Muito embora não se tenha utilizado o custo de produção de energia na função final de bem-estar, quando a elasticidade produção é cruzada com a curva de demanda dos dois mercados, o impacto indireto causado pelo custo de termoeletricidades, refletido pela flutuação dos seus níveis de produção (altamente correlacionado com o uso de hidroelétricas), se reflete de maneira a reduzir os parâmetros de substitutibilidade, influenciando o seu valor final na Função [6]. Nos próximos anos, com a aplicação do plano do MME de ampliação da base energética renovável, assim como o programa de P&D da ANEEL, os valores relativos ao bem-estar de energia desta categoria certamente serão maiores.

#### ***4.2.2 Ambiente de Contratação Livre***

O ambiente de contratação livre encontra um arcabouço institucional especialmente criado para se consagrasse um modelo de contratação de energia elétrica diferenciado. Antigamente chamado de mercado livre (ou atacado) de energia, os grandes contratantes de energia do país negociam diretamente seus preços com os respectivos geradores, levando-se também em consideração a base energética, que neste ponto passa a ser mais importante na ótica da demanda com o que foi mostrado no ambiente de contratação regulado. Evidentemente, não faria sentido nenhum para um consumidor que possa escolher o seu gerador, comprar energia a um preço maior, o que seria proporcionado pelos geradores de fonte termoelétrica. Neste aspecto é importante salientar que muitas vezes existe uma grande saturação nos mercados hidrelétricos, que fazem com que a transmissão e chegada desta energia no ponto consumidor seja tão alta que é realmente mais fácil comprar de fontes termoelétricas, localizadas mais próximas. Naturalmente, esta seria uma situação demasiada extrema para um consumidor livre comum do ACL. O ponto a se chegar é que, a partir do momento em que há saturação de consumo nos mercados hidroelétricos, assim como nas renováveis (onde o preço ainda é baixo), a alternativa seria a compra de energia termoelétrica. Os fatores de saturação hidroelétrica já foram explicados anteriormente. Para o caso renovável, é simplesmente sua

baixa oferta no mercado que torna as térmicas a última opção, frente a um blecaute geral nas atividades do cliente livre. Mais uma vez, esta situação seria em um momento de colapso, o que por hora é tratado como um devaneio.

Assim, de forma semelhante ao que foi visto no mercado regulado, a base hidroelétrica segue sendo a de maior bem-estar [14,8297], seguida pelas renováveis [0,00041] e pelas térmicas [0,00032]. Os fatores que levaram a estes parâmetros são os mesmos vistos no mercado cativo, basicamente por seus impactos quase que exclusivos no preço final, onde a transmissão de longa distância pode também influenciar a decisão final do consumidor. Mais uma vez, com o aumento da participação de energias renováveis na matriz elétrica brasileira, naturalmente tem-se um aumento de bem-estar por elas proporcionado.

#### **4.2.3 Mercado de Energia Brasileiro**

Invariavelmente aos resultados colocados anteriormente, se somarmos os resultados dos dois ambientes para um caso total encontraríamos como parâmetros de bem-estar os valores [45,7634] para a fonte hidroelétrica, [1,51731] para as renováveis, e [1,46332] para as térmicas. Para o setor elétrico como um todo, a tendência de participação de formas de energias alternativas frente ao modelo hidrotérmico tradicional ganha força com os resultados estabelecidos neste trabalho. Os incentivos proporcionados por políticas de P&D para descoberta, aperfeiçoamento e implantação destas novas fontes ganha um papel fundamental quando se trata do setor como uma área estratégica para o desenvolvimento nacional, e em se tratando de um dos motores do crescimento sustentável de médio e longo prazo, sua natureza imperativa explica-se por si só.

A atual conjuntura nacional e internacional, com um maior número de empresas atuando na dinâmica de mercado junto a CCEE, agente públicos e privados, além de grandes conglomerados internacionais migrando para o país, seja sob a forma de aquisições de empresas nacionais, *joint ventures*, ou por qualquer outra forma de internacionalização, tem como objetivo único a ampliação da concorrência e melhoria de infraestrutura do parque elétrico brasileiro. Estimativas de longo prazo contam com a ampliação de energias renováveis.

Por fim, em um cenário em que a base renovável possuir o mesmo peso da base hidroelétrica, possivelmente os níveis de bem-estar para esta fonte energética terão índices maiores.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados nesta dissertação possuem conclusões poderosas no que se refere às perspectivas de um novo modelo para o setor elétrico brasileiro. De certa forma, muito embora no mercado já se saiba dos benefícios trazidos pela implantação de uma terceira via ao modelo tradicional, este trabalho buscou configurar a existência de um bem-estar maior oriundo das fontes alternativas, vistas com bons olhos por todos os agentes do mercado de energia elétrica. Segundo a literatura aqui apresentada, novos paradigmas de consumo estão transformando a forma do uso de energia, e por *energia* neste caso incluem-se também as formas fósseis de combustíveis e não só pela perspectiva da eletricidade. O uso de motores a combustão por gasolina e óleo diesel lentamente começa a encontrar um ambiente de saturação, assim como aconteceu com o carvão mineral e lenha no século passado. No limiar do uso de petróleo frente a um mercado consumidor cada vez mais interessado em alternar a base energética provida por fontes naturais, e principalmente, renováveis, o uso daquela forma de energia tende cada vez mais a ficar minguado, especialmente por seus altos preços (monopolizados por um cartel internacional), impactos no meio ambiente, e com previsões apocalípticas de falta de provisão de reservas em alguns anos. Mais uma vez, as renováveis ganham fôlego.

Em um primeiro momento mostrou-se a demanda por eletricidade dividindo a demanda de mercado em duas grandes áreas de consumo: regulado e livre. Concluiu-se sobre a condição de inelasticidade do preço e da natureza de “bem público” dado a energia elétrica como bem e ao setor elétrico como um todo. Foi visto que sob esta ótica, o preço em si é fator não determinante para o incremento no consumo, isso porque não é cabível um bem substituto a eletricidade nos lares brasileiros. Ocorreu também que no caso do ambiente livre, o Preço de Liquidação de Diferenças, usado como uma *proxy* do real preço praticado no mercado, levou a concluir que, de fato, este é somente um parâmetro de decisão no ato de liquidação de excedentes energéticos por parte dos agentes consumidores livres na CCEE. O PLD em si não é um preço de mercado, pois é calculado temporalmente com base majoritária referente às condições hidrográficas do país, assim como o respectivo acionamento (ou não) de térmicas. Assim, se um consumidor livre compra energia por um valor  $x$ , este pode usar o PLD para vender por um valor  $y$  maior na CCEE, obtendo um lucro extraordinário. Em um caso de PLD baixo, o respectivo agente poderia incorrer em prejuízos.

Esclareceu-se sobre a conexão positiva existente entre o aumento da renda e o consumo de eletricidade nos dois mercados, uma vez que uma melhoria dos níveis de renda do



país aumenta o consumo energético. As elasticidades preços de materiais elétricos também não afeta o consumo dos agentes. Neste caso, os resultados apresentados podem ser muito mais relacionados a uma especificidade do comportamento do consumidor do que propriamente uma consequência da dinâmica de mercado. A elasticidade de máquinas e equipamentos, com seus valores considerados altos, reflete um cruzamento entre o investimento em maquinário e o consumo energético de grandes consumidores, assim como o seu uso em épocas de grande crescimento do produto nacional.

Em um segundo momento, foram estimadas as elasticidades produção a partir de uma função de produção padrão. Encontrou-se uma alta elasticidade produção do parâmetro referente à hidroeletricidade pela predominância de sua participação na produção agregada. O resultado curioso surge quando se comparam os parâmetros de térmicas e renováveis, ficando o primeiro parâmetro menor que o segundo, muito embora a participação na matriz energética deste seja muito menor. Este é o segundo resultado fundamental deste trabalho: o peso da produção de um “insumo renovável” na produção elétrica brasileira é maior que o peso de “um insumo térmico”.

Por fim, o resultado final para funções de bem-estar entre os mercados regulado e livre mostram que efetivamente há um movimento em direção as fontes energéticas renováveis devido ao seu nível bem-estar em destaque frente as outras formas de energia. Uma vez que estas fontes possuem o menor peso na matriz energética nacional e ainda assim conseguem se colocar frente ao modelo térmico, tudo nos leva a crer que, em um cenário posterior de igualdade na produção hidrelétrica e renovável, certamente os índices de bem-estar seriam melhores para a última frente ao apresentado pelo desempenho do modelo tradicional. Em um horizonte não muito distante, ao se fazer novamente estas estimativas, é possível que os parâmetros sejam dominados pela participação das renováveis, e que para efeitos de políticas públicas, corrobora-se que o Brasil, no quesito geração de energia, esteja no caminho certo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLAN, Grant et al. Economics of Energy Efficiency. In: EVANS, Joanne; HUNT, Lester. **International Handbook on the Economics of Energy**. Northampton: Mpg Books Group, 2009. p. 144-163.

ANDRADE, Thompson; LOBÃO, Waldir. **Elasticidade Preço e Renda da Demanda Residencial de Energia Elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 1997. Texto para discussão N° 489.

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3ª edição. Brasília: Assessoria de Comunicação e Imprensa da Aneel, 2008.

ANEEL. **Boletim de Informações Gerenciais**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Primeiro trimestre de 2010 ao quarto trimestre de 2016.

BEENSTOCK, Michael; GOLDIN, Ephraim; NABOT, Dan. The demand for electricity in Israel. **Energy Economics**. Amsterdam, p. 168-183. abr. 1999.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Energia Elétrica. **Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico Nacional**. Brasília: Departamento de Monitoramento do Sistema Elétrico, 2010 a 2016.

CASTRO, Nivalde J. de et al. **O Processo de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro e os Impactos da MP 579**. Texto de Discussão do Setor Elétrico N.º 51, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p.01-24, jan. 2013.

CASTRO, Nivalde José de et al. **A Formação do preço da energia elétrica: Experiências internacionais e o modelo brasileiro**. Rio de Janeiro: Gesel - UFRJ, 2014. (Texto de Discussão do Setor Elétrico n. 62).

CASTRO, Nivalde José de et al. **Mercados de energia em sistemas elétricos com alta participação de energias renováveis**. Rio de Janeiro: Gesel - UFRJ, 2011. (Texto de Discussão do Setor Elétrico n. 31).

CASTRO, Nivalde José de et al. **Perspectivas e Desafios da Difusão da Micro e da Mini Geração Solar Fotovoltaica no Brasil**. Texto de Discussão do Setor Elétrico no 67: Texto de Discussão do Setor Elétrico No 67, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p.1-46, jun. 2016.

CASTRO, Nivalde José de; DANTAS, Guilherme de A.; TIMPONI, Raul R.. **The role of energy planning in new hydropower investments**. Texto de Discussão do Setor Elétrico N.º 37, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p.1-8, jul. 2011.

CCEE. **Boletim Informativo de Operações dos Agentes no Sistema Elétrico**. Brasília: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, 2010 a 2016.

COSTA, Ana Thereza Carvalho et al. **Análise dos determinantes da matriz elétrica brasileira**. In: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 10., 2016, Gramado: Sbp, 2016. p. 1 – 12.

COSTA, Claudia do Valle. **Políticas De Promoção De Fontes Novas E Renováveis Para Geração De Energia Elétrica: Lições Da Experiência Européia Para O Caso Brasileiro**. 2006. 249 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós - Graduação em Engenharia Elétrica da UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

D`ARAÚJO, Roberto Pereira. **Setor Elétrico Brasileiro: Uma aventura mercantil**. Brasília: Editora Coronário. Série Pensar o Brasil e Construir o Futuro da Nação, Março de 2009.  
EPE. Anuário Estatístico de Energia Elétrica. Brasília: Empresa de Pesquisa Energética, 2011 a 2016.

ESTEVES, L. A. ; DENEGRÍ, Fernanda ; MESSA, A. . **Complexos Industriais Ligados a Energia**. In: João A. DeNegri; Mauro B. Lemos. (Org.). O Núcleo Tecnológico da Indústria Brasileira. Brasília: Finep/ABDI/IPEA, 2011, v. 2, p. 665-756.

EVANS, Joanne; HUNT, Lester C. **International Handbook on the Economics of Energy**. Massachusetts: Mpg Books Group, 2009.

FRAGA, Lucas. T. F.; SILVA, Francisco. G. F. **Estimação de Demanda dos Ambientes de Contratação Regulado e Livre do Mercado De Energia Elétrica Brasileiro**. In: 2º Congresso Brasileiro de Geração Distribuída, 2017, Fortaleza. 2º Congresso Brasileiro de Geração Distribuída. Fortaleza: SindiCeará, 2017.

GUJARATI, Damodar. **Econometria Básica**. 5. ed.: Amgh Editora, 2011.

HICKS, J. R.. The Foundations of Welfare Economics. **The Economic Journal**, London, v. 49, n. 196, p.696-712, dez. 1939.

HONDROYIANNIS, George. Estimating residential demand for electricity in Greece. **Energy Economics**. Amsterdam, p. 319-334. Mai. 2004.

IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática**. 2017. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5796>>. Acesso em: 29 abr. 2017.

IPEADATA. **Sistema de Metadados**. 2017. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 24 abr. 2017.

KEMFERT, Claudia; TRUONG, Truong. Energy–economy–environment modelling: A survey. In: EVANS, Joanne; HUNT, Lester C.. **International Handbook on the Economics of Energy**. Cheltenham, Uk: Mpg Books Group, 2009. p. 367-382.

MADLENER, Reinhard. The economics of energy in developing countries. In: EVANS, Joanne; HUNT, Lester C.. **International Handbook on the Economics of Energy**. Northampton, Massachusetts, Usa: Edward Elgar Publishing Limited, 2009. p. 740-758.

MAS-COLELL, Andreu; WHINSTON, Michael D.; GREEN, Jerry. **Microeconomic Theory**. Massachusetts: Oxford University Press, 1995.

MEDEIROS, Lúcio de. **Previsão do Preço Spot no Mercado de Energia Elétrica**. 2003. 130 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós - Graduação em Engenharia Elétrica da PUC - Rio, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003

PAZO, Maria Consuelo; JAUMANDREU, Jordi. An empirical oligopoly model of a regulated market. **International Journal of Industrial Organization**, Amsterdam, v. 1, n. 17, p.25-57, jan. 1999.

SCHMIDT, Cristiane Alkmin Junqueira; LIMA, Marcos. A Demanda por Energia Elétrica no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**. Rio de Janeiro, p. 67-98. jan. 2004.

SOUSA, Lucas Vitor de Carvalho et al. **Elasticidade de Substituição entre capital, trabalho e recursos naturais**: Uma análise empírica para os países da OCDE. In: X ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA, 10., 2013, Vitória: Ecoeco, 2013.

TOLMASQUIM, Mauricio T.. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.