

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

**ANA RAQUEL BERNARDY**

**ANÁLISE DA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA:  
HISTÓRICO E TENDÊNCIAS**

**ARARANGUÁ**

**2018**

ANA RAQUEL BERNARDY

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
DE ENERGIA**

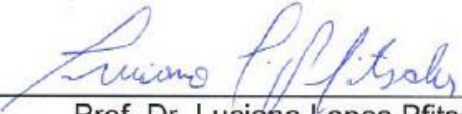
Trabalho de Conclusão de Curso,  
apresentado à Universidade Federal de  
Santa Catarina, como parte das exigências  
para a obtenção do título de Engenheiro(a)  
de Energia.

Araranguá, 03 de dezembro de 2018.

**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Giuliano Arns Rampinelli (Orientador)  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. César Cataldo Scharlau  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Luciano Lopes Pfitscher  
Universidade Federal de Santa Catarina

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, à Deus por me guiar e conceder forças para concluir mais essa etapa da minha vida.

Aos meus pais, Plínio e Deusilene Bernardy, por sempre acreditarem em mim, e por me ajudarem a realizar esse sonho: sem vocês, nada disso seria possível!

Aos amigos que cultivei durante minha graduação e que muitas vezes foram minha família em Araranguá. Levarei vocês sempre no coração! Gostaria de agradecer também a todos que de alguma forma contribuíram para minha formação pessoal e profissional e que estiveram presentes em algum momento desta etapa.

Ao meu namorado, Jo-Oddmund Vaagaasar, que mesmo do outro lado do mundo, me apoiou e me animou nos dias tristes, e celebrou comigo todas as minhas conquistas acadêmicas.

Agradeço ao professor Dr. Giuliano Rampinelli, meu orientador, por toda a paciência e conhecimento compartilhado no desenvolvimento desse trabalho.

E, por fim, agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina e à todos os professores que em algum momento contribuíram com a minha formação.

## RESUMO

O setor elétrico é fundamental para o desenvolvimento econômico de um país, e por isso requer constante planejamento. O Brasil, apesar de ser um país de dimensões continentais, com potencial de geração elétrica de diversas fontes, possui hoje uma matriz baseada em hidroeletricidade. O presente trabalho trata de uma revisão bibliográfica, onde se faz um levantamento sobre o histórico e a estrutura do Setor Elétrico Brasileiro, apresentando as instituições participantes e suas funções. A partir de dados publicados no Balanço Energético Nacional pelo Ministério de Minas e Energia e pela Empresa de Pesquisa Energética, analisou-se como a Matriz Elétrica Brasileira vem evoluindo, no período de 2002 a 2017. Projeções de crescimento populacional alertam para a necessidade de planejamento da capacidade de geração. Através do Plano Decenal de Expansão de Energia, do Plano Energético Nacional 2030 e da Matriz Energética Nacional 2030, investigou-se como se dará o crescimento de cada fonte de energia no Brasil. Tendo em vista a necessidade de expansão de formas alternativas à energia hidráulica, apresenta-se uma perspectiva da geração centralizada com usinas fotovoltaicas.

Palavras-chave: Matriz Elétrica Brasileira; Setor Elétrico Brasileiro; Balanço Energético Nacional; Plano Decenal de Expansão de Energia; Plano Energético Nacional 2030; Matriz Energética Nacional 2030.

## **ABSTRACT**

The electric sector is fundamental to the economic development of a country, and therefore requires constant planning. Brazil, despite being a country with continental dimensions, with potential of electric generation from several sources, has today a matrix based on hydroelectricity. The present work deals with a bibliographical review, where a survey is made on the history and structure of the Brazilian Electrical Sector, presenting the participating institutions and their functions. Based on data published in the National Energy Balance by the Ministry of Mines and Energy and by the Energy Research Company, it was analysed how the Brazilian Electric Matrix has been evolving, from 2002 to 2017. Population growth projections warn of the need for planning of generating capacity. Through the Decennial Energy Expansion Plan, the National Energy Plan 2030 and the National Energy Matrix 2030, we investigated how each energy source will grow in Brazil. Considering the need to expand alternative forms of hydropower, a perspective of centralized generation with photovoltaic power plants is presented.

**Keywords:** Brazilian Electrical Matrix; Brazilian Electrical Sector; National Energy Balance; Ten Year Energy Expansion Plan; National Energy Plan 2030; National Energy Matrix 2030.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Linha do tempo do Setor Elétrico Brasileiro. ....	10
Figura 2 - Estrutura organizacional do Setor Elétrico Brasileiro. ....	14
Figura 3 - Oferta Interna de Energia Elétrica e PIB. ....	18
Figura 4 - Matriz de Oferta de Energia Elétrica no Brasil. ....	19
Figura 5 - Matriz de Oferta de Energia Elétrica no Mundo. ....	19
Figura 6 - Estrutura da Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte – 2002 a 2008. ....	20
Figura 7 - Estrutura da Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte. ....	22
Figura 8 - Estrutura da Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte. ....	24
Figura 9 - Estrutura da Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte. ....	26
Figura 10 - Percentagem de tipos de geração distribuída. ....	27
Figura 11 - Oferta Interna de Energia Elétrica (TWh) entre 2002 e 2017. ....	29
Figura 12 - Potência Instalada (GW) entre 2002 e 2017. ....	30
Figura 13 - Projeção de carga. ....	33
Figura 14 - Potência Instalada no SIN no final de maio de 2018. ....	34
Figura 15 - Expansão contratada em leilões até abril de 2018: incremento anual da capacidade instalada (MW). ....	35
Figura 16 - Participação das fontes. ....	36
Figura 17 - Evolução da estrutura da oferta de eletricidade. ....	38
Figura 18 - Potência instalada por fonte em 2050. ....	39
Figura 19 - Números referentes aos leilões realizados no Brasil até 2015, contemplando a contratação de energia fotovoltaica. ....	41
Figura 20 - Potências contratadas e preços médios de cada leilão. ....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estrutura da Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte. ....	20
Tabela 2 - Dados Balanço Energético Nacional 2002 a 2008. ....	21
Tabela 3 - Estrutura da Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte. ....	22
Tabela 4 - Dados Balanço Energético Nacional. ....	23
Tabela 5 - Estrutura da Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte. ....	23
Tabela 6 - Dados Balanço Energético Nacional. ....	24
Tabela 7 - Estrutura da Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte. ....	25
Tabela 8 – Tipos de Geração Distribuída. ....	27
Tabela 9 - Resumo da geração distribuída por estados brasileiros. ....	28
Tabela 10 - Dados Balanço Energético Nacional. ....	29
Tabela 11 - Crescimento da OIEE e da Potência Instalada de Geração no período 2002 - 2017. ....	30
Tabela 12 - Expansão contratada em leilões até abril de 2018: incremento anual de capacidade instalada (MW). ....	34
Tabela 13 - Variação percentual da expansão da potência instalada. ....	35
Tabela 14 – Quantidades comercializadas e preços de venda. ....	41

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2 ESTRUTURA DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO.....</b>	<b>10</b>
<b>3 HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DA MATRIZ ELÉTRICA .....</b>	<b>17</b>
<b>4 PROJEÇÕES PARA A MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA .....</b>	<b>32</b>
<b>5 PERSPECTIVAS DA GERAÇÃO CENTRALIZADA COM USINAS FOTVOLTAICAS.....</b>	<b>40</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>45</b>
<b>ANEXO A – EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA POR FONTE DE GERAÇÃO PARA A EXPANSÃO DE REFERÊNCIA.....</b>	<b>51</b>



## 1 INTRODUÇÃO

É possível afirmar que o desenvolvimento da sociedade atual é devido, em grande parte, à utilização da energia elétrica. A razão entre o consumo de energia e o crescimento econômico é discutida em vários indicadores sociais e verifica-se que a sociedade que expande seu conhecimento sobre fontes energéticas, adquire um maior controle sobre a natureza e extrai dela recursos de forma sustentável, visando uma melhoria na qualidade de vida.

Na última década, o Setor Elétrico Brasileiro (SEB) tem passado por transformações devido ao processo de transição de modelo estrutural. As bases desse novo modelo consistem em diversos fatores, entre eles o planejamento de longo prazo do SEB, por meio da Empresa de Pesquisa Energética.

O planejamento da Matriz Elétrica Brasileira (MEB) é de extrema importância, afim de se alcançar uma matriz diversificada, e assim, evitar problemas de sazonalidade.

Como a produção científica tem como finalidade apoderar-se da realidade para uma melhor análise e, futuramente, produzir transformações, a discussão sobre a Matriz Elétrica Brasileira, além de um aspecto prático importante, reveste-se de importância no meio acadêmico. Com isso, a elaboração de estudos e conteúdos sobre a MEB pode ser o início de um processo de mudanças que começa na academia e estende seus resultados para a realidade social. Para o curso de Engenharia de Energia, pesquisas e trabalhos sobre a MEB e projeções futuras para a tal, são cada vez mais necessários e pertinentes.

O presente trabalho consta com uma revisão bibliográfica acerca da Matriz Elétrica Brasileira, utilizando como base de dados relatórios nacionais emitidos por órgãos do Governo Federal, como: Balanço Energético Nacional, Matriz Energética Nacional 2030 e Plano Nacional de Energia 2030.

O trabalho tem como objetivo geral analisar a MEB, sendo que os objetivos específicos são:

- Apresentar a estrutura e um breve histórico do Setor Elétrico Brasileiro;
- Apresentar os dados históricos e a evolução da Matriz Elétrica Brasileira, entre os anos de 2002 e 2017, a partir de dados publicados no Balanço Energético Nacional;

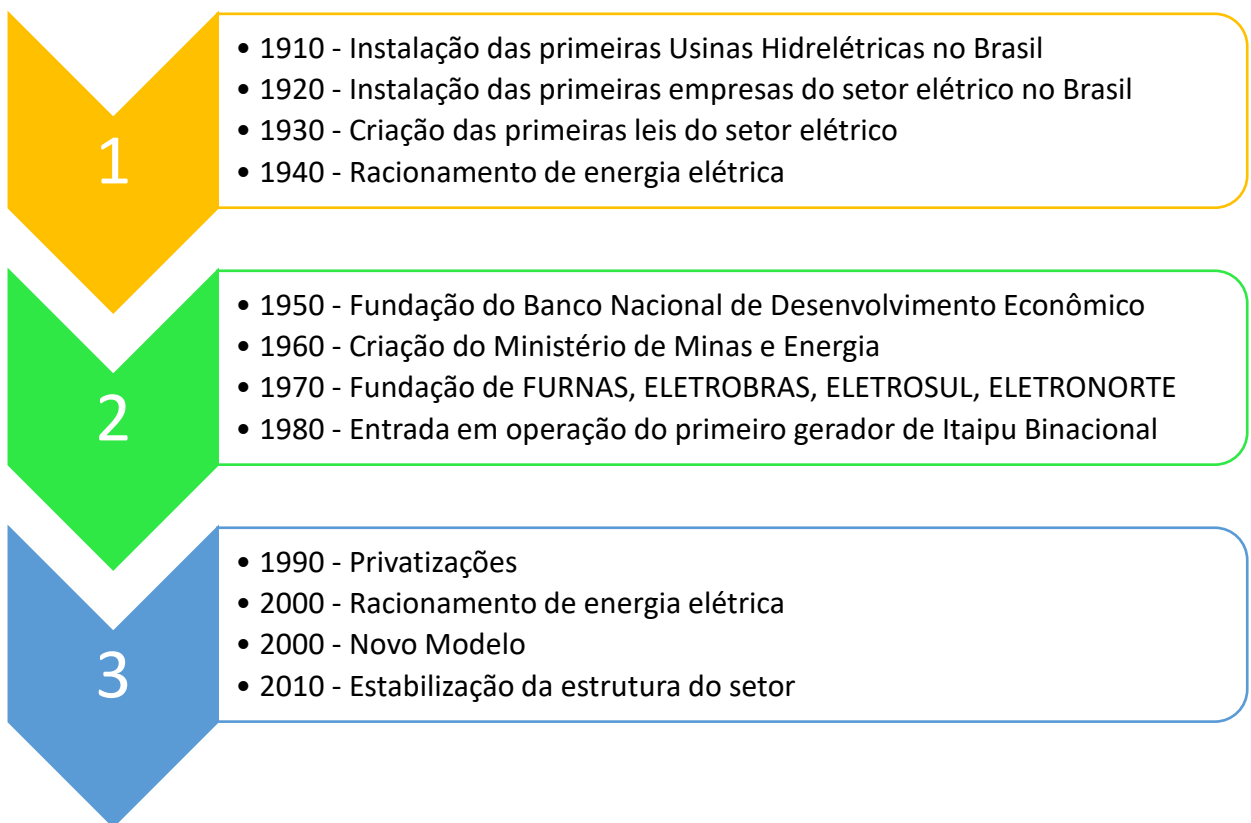
- Analisar as tendências e perspectivas futuras para a Matriz Elétrica Brasileira;
- Apresentar as perspectivas da geração centralizada com usinas fotovoltaicas.

O trabalho conta com 6 capítulos no total, considerando essa introdução. Cada um dos objetivos específicos é analisado em um capítulo, sendo o último (capítulo 6), empregado para discussões e considerações finais.

## 2 ESTRUTURA DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

O setor elétrico brasileiro, pode ser dividido em três momentos: o primeiro é caracterizado como o período onde se iniciou as atividades compreendendo energia elétrica no Brasil, na primeira metade do século XX; um segundo momento, que durou até o final do século XX, foi marcado pela presença do Estado na execução das atividades do setor elétrico; e um terceiro período, que perdura até hoje, definido pela reestruturação do setor elétrico para um modelo com uma maior participação da iniciativa privada (SANTOS, 2015). A Figura 1 ilustra esses momentos, e alguns dos principais acontecimentos.

Figura 1 – Linha do tempo do Setor Elétrico Brasileiro.



Fonte: Autora (2018).

De acordo com a Figura 1, no primeiro momento do SEB, iniciaram-se as atividades de geração e consumo de energia elétrica, bem como o estabelecimento de empresas que são ativas no mercado de energia elétrica até hoje, como a Light, CPFL, CBEE e GE (ALMEIDA, 2008). Concebeu-se também as primeiras leis afim de regular as atividades do setor elétrico e do manejo do uso das fontes energéticas,

como o Código de Águas, decretado em 1934 no primeiro governo do Presidente Getúlio Vargas (SANTOS, 2015).

Segundo Almeida (2008), o Código de Águas veio disciplinar o setor elétrico, tendo em vista que regulamentou a propriedade e uso. De acordo com Lorenzo (2001):

O Código de Águas trouxe mudanças fundamentais na legislação do setor, principalmente quanto a outorga das autorizações e concessões para exploração dos serviços de energia elétrica; alterando os critérios de determinação das tarifas de energia (que passaram a ser fixadas a partir do serviço pelo custo) e reforçando a atuação do Estado sobre o setor, passando a União a ser o único poder concedente.

Visando a estruturação do setor, “o segundo período foi marcado pela forte intervenção do Estado, com a criação de empresas, agentes reguladores e financiamentos de empreendimentos de geração de energia elétrica” (SANTOS, 2015). Deste período, pode-se destacar:

- I. criação do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDE), em junho de 1952, que concedeu um grande número de empréstimos às companhias geradoras de eletricidade;
- II. a criação do Ministério de Minas e Energia em 1960;
- III. através da Lei Nº. 4.454, de 1964, é adotada a frequência de 60 Hz para distribuição de energia elétrica no Brasil;
- IV. a instituição de empresas como a Central Elétrica de Furnas S.A. (1957), Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – ELETROBRÁS (1962), Centrais Elétricas do Sul do Brasil S.A. – ELETROSUL (1968), Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. – ELETRONORTE e Empresas Nucleares Brasileiras S.A. – NUCLEBRÁS, ambas em 1973.

Ainda nesse ano, no dia 26 de abril, Brasil e Paraguai assinaram o Tratado de Itaipu, instrumento legal para o aproveitamento hidrelétrico do Rio Paraná pelos dois países. Em maio de 1974, a entidade Itaipu Binacional foi criada afim de gerenciar a construção da usina, que iniciou no ano seguinte (CAMARGO, 2005).

Dez anos depois, no dia 5 de maio, inicia a operação da primeira das 20 unidades geradoras da Usina Hidrelétrica Itaipu Binacional, a maior usina hidrelétrica do mundo até então, e a segunda maior da atualidade (ITAIPU BINACIONAL, 2018). De acordo com Santos (2015), este foi um ano marcante tanto para o setor elétrico brasileiro quanto o internacional, visto que o projeto quase dobrou a capacidade de

geração elétrica no Brasil: até então, a potência instalada era de 16,7 mil megawatts (MW) e apenas a Itaipu Binacional adicionou 14 mil megawatts (MW) ao sistema.

Em 1985, entrou em operação a primeira usina termonuclear brasileira Angra 1, com 640 megawatts (MW) de potência (ELETRONUCLEAR, 2018). Ainda neste ano, foi constituído o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, com o intuito de incentivar a racionalização da energia elétrica. Em 1988, foi criada a Revisão Institucional do Setor Elétrico – REVISE, considerado o embrião das mudanças ocorridas no setor durante a década seguinte (CAMARGO, 2005).

O terceiro período, correspondente à década de 90 até os dias de hoje, foi onde o governo, através do Programa Nacional de Desestatização (PND), deixou em grande parte o papel executor dos serviços, afim de regular o mercado. O PND foi criado em 1990 durante o governo Fernando Collor, mas resultados efetivos foram vistos apenas no mandato de Fernando Henrique Cardoso (SANTOS, 2015), com os seguintes fatos (CAMARGO, 2005):

- 1995: (i) foi sancionada parcialmente a Lei Nº 8.987, que dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previsto no art. 175 da Constituição Federal; (ii) sancionada a Lei Nº 9.074, que dispõe sobre normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos, assim como as opções de Compra de Energia Elétrica por parte dos Consumidores, dando origem ao Mercado Livre de Energia; (iii) regulamentação da produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor através do Decreto Nº 2.003;
- 1997: (i) criada a Eletrobrás Termonuclear S.A. – ELETRONUCLEAR, que se tornou responsável pelos projetos de usinas termonucleares no Brasil; (ii) foi sancionada a Lei Nº 9.478, que dispõe sobre a Política Energética Nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética – CNPE e a Agência Nacional do Petróleo – ANP; (iii) a Lei Nº 9.427 institui a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL;
- 1998: (i) reestruturação das Centrais Elétricas Brasileiras – ELETROBRÁS, através da Lei Nº 9.648; (ii) regulamentação do Mercado Atacadista de Energia Elétrica – MAE e do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, por meio do Decreto Nº 2.655;

Segundo Santos (2015),

a década de 90 foi um período de mudanças importantes para o setor elétrico brasileiro, onde o governo procurou tomar medidas que pudessem atrair investidores para a ampliação do parque gerador de energia elétrica do país, e dessa forma fomentar o desenvolvimento econômico da nação. Estes investimentos, porém, não ocorreram da maneira esperada devido às estratégias políticas antigas que faziam com que as empresas do setor elétrico absorvessem prejuízos para não repassar reajustes aos consumidores. Desta forma a capacidade de geração e transmissão de energia elétrica no país não recebeu investimentos adequados, resultando num sistema defasado que não atendia à demanda de energia.

Posto que a matriz elétrica brasileira era e continua sendo fortemente hidrelétrica, bastou um período hidrológico desfavorável em relação ao regime de chuvas para que a fusão desses elementos resultasse em um racionamento, entre 2001 e 2002, nas regiões Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste do Brasil (CUBEROS, 2008).

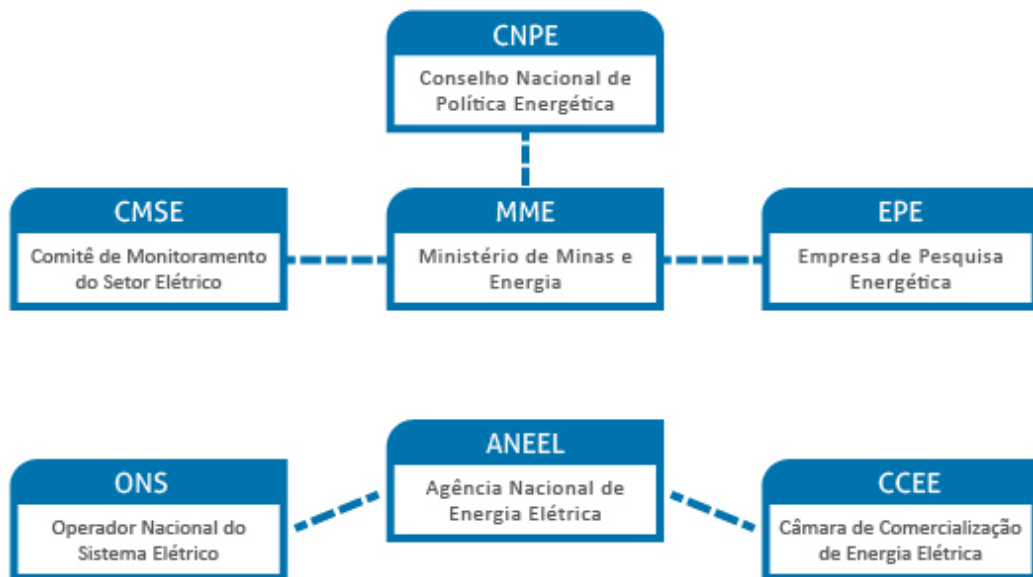
A partir da urgência de medidas para enfrentar a escassez de energia elétrica, o Governo Federal formou a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica, que teve o intuito de propor e implementar medidas de natureza emergencial, devido à situação hidrológica, afim de harmonizar a demanda e a oferta de energia elétrica. Tendo como missão a de encaminhar propostas para corrigir as disfunções e aprimorar o atual modelo do Setor Elétrico Brasileiro, em 22 de junho de 2001, através da Resolução Nº 18, a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica criou o Comitê de Revitalização do Modelo do Setor Elétrico (JANUÁRIO, 2007).

Segundo Cuberos (2008) e Januário (2007), com a mudança de governo ocorrida em 2003, novas premissas foram adotadas para o setor elétrico brasileiro, dando início à implementação de um novo modelo para o setor, cujos objetivos eram:

- Promover a modicidade tarifária;
- Garantir a segurança do suprimento de energia elétrica;
- Assegurar a estabilidade regulatória do mercado;
- Promover a inserção social, através da universalização de atendimento.

O Novo Modelo do Setor Elétrico Brasileiro, vigente desde 2004, criou novas instituições e redefiniu atribuições para as já existentes (CCEE, 2018). A estrutura atual do SEB é mostrada na Figura 2:

Figura 2 - Estrutura organizacional do Setor Elétrico Brasileiro.



Fonte: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (2018).

De acordo com a CCEE (2018), as instituições atuantes no setor são assim caracterizadas:

- Conselho Nacional de Política Energética (CNPE): é um órgão interministerial de assessoramento à Presidência da República que tem como principais atribuições a formulação de políticas e diretrizes de energia que assegurem o suprimento de insumos energéticos a todas as áreas do país, incluindo as mais remotas e de difícil acesso. Também é responsável por revisar periodicamente as matrizes energéticas aplicadas às diversas regiões do país, por estabelecer diretrizes para programas específicos – como os de uso do gás natural, do álcool, de outras biomassas, do carvão e da energia termonuclear -, e por estabelecer diretrizes para a importação e a exportação de petróleo e gás natural (CCEE, 2018).
- Ministério de Minas e Energia (MME): é o órgão do governo federal responsável pela condução das políticas energéticas do país. Tem como atribuições a formulação e a implementação de políticas para o setor energético, de acordo com as diretrizes definidas pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). Também é responsável por definir o planejamento do setor elétrico brasileiro, monitorar a segurança do

suprimento e determinar ações preventivas para restauração da segurança de suprimento no caso de desequilíbrios conjunturais entre oferta e demanda de energia (CCEE, 2018).

- Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE): um órgão sob coordenação direta do MME, criado com a função de acompanhar e avaliar a continuidade e a segurança do suprimento elétrico em todo o território nacional. Suas principais atribuições incluem: acompanhamento do desenvolvimento das atividades de geração, transmissão, distribuição, comercialização, importação e exportação de energia elétrica; avaliação das condições de abastecimento e de atendimento; realização periódica de análise integrada de segurança de abastecimento e de atendimento; identificação de dificuldades e obstáculos que afetem a regularidade e a segurança de abastecimento e expansão do setor; e elaboração de propostas para ajustes e ações preventivas que possam restaurar a segurança no abastecimento e no atendimento elétrico (CCEE, 2018).
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE): instituída pela Lei Nº 10.847/04 e regulamentada pelo Decreto Nº 5.184/04, é uma instituição vinculada ao MME cuja função é prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético. Entre suas atribuições estão a realização de estudos e projetos da matriz energética brasileira; a execução de estudos que propiciem o planejamento integrado de recursos energéticos; o desenvolvimento de estudos que propiciem o planejamento de expansão da geração e da transmissão de energia elétrica de curto, médio e longo prazos; a realização de análises de viabilidade técnico-econômica e socioambiental de usinas; e a obtenção da licença ambiental prévia para aproveitamentos hidroelétricos e de transmissão de energia elétrica (CCEE, 2018).
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL): tem as atribuições de regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização da energia elétrica. Zelar pela qualidade dos serviços prestados, pela universalização do atendimento e pelo estabelecimento de tarifas para os consumidores finais, sempre preservando a viabilidade econômica e financeira dos agentes e da indústria, também é responsabilidade da ANEEL. As alterações promovidas em 2004 pelo atual modelo do setor estabeleceram como responsabilidade da ANEEL, direta ou indiretamente, a promoção de licitações na modalidade de



leilão para a contratação de energia elétrica pelos agentes de distribuição do Sistema Interligado Nacional (SIN). Desde então, a ANEEL tem delegado a operacionalização desses leilões à Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, 2018).

- Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS): é a instituição responsável por operar, supervisionar e controlar a geração de energia elétrica no Sistema Integrado Nacional (SIN) e por administrar a rede básica de transmissão de energia elétrica no Brasil. O ONS tem como objetivos principais o atendimento dos requisitos de carga, a otimização de custos e a garantia de confiabilidade do sistema. Outra responsabilidade da instituição é a definição das condições de acesso à malha de transmissão em alta tensão do país (CCEE, 2018).
- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE): instituída pela Lei Nº 10.848 de 2004, adotou as funções e estruturas de organização e operação do MAE. Suas principais obrigações são: a apuração do Preço de Liquidação de Diferenças (PLD), que é utilizado para valorar as transações realizadas no mercado de curto prazo; realiza a contabilização dos montantes de energia elétrica comercializados; a liquidação financeira dos valores decorrentes das operações de compra e venda de energia elétrica realizadas no mercado de curto prazo; e a realização de leilões de compra e venda de energia no Ambiente de Contratação Regulada por delegação da ANEEL (CCEE, 2018).

As instituições mencionadas são essenciais para a organização e funcionamento do setor elétrico no país. Ressalta-se que o setor é uma integração entre os agentes do governo, agentes públicos e privados.

### 3 HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DA MATRIZ ELÉTRICA

A EPE é a instituição vinculada ao Ministério de Minas e Energia, que presta serviços na área de estudo e pesquisas com o fim de subsidiar o planejamento do setor de energia elétrica. Uma das atribuições da EPE é “elaborar e publicar o Balanço Energético Nacional” (CASTRO, 2004).

Elaborado há mais de 30 anos pelo MME, e desde 2005 pela EPE, o Balanço Nacional Energético – BEN é o documento que divulga, anualmente, a contabilidade referente à oferta e ao consumo energético no país, abrangendo as atividades de exploração e produção de recursos energéticos primários, sua conversão em formas secundárias, a importação e exportação, a distribuição e ao uso final da energia (EPE, 2018). É, então, uma das mais completas e sistematizadas bases continuadas de dados energéticos disponível no país, sendo uma referência fundamental para qualquer estudo do planejamento do setor energético brasileiro (MONTROYA; LOPES; GUILHOTO, 2014).

De acordo com a EPE (2006),

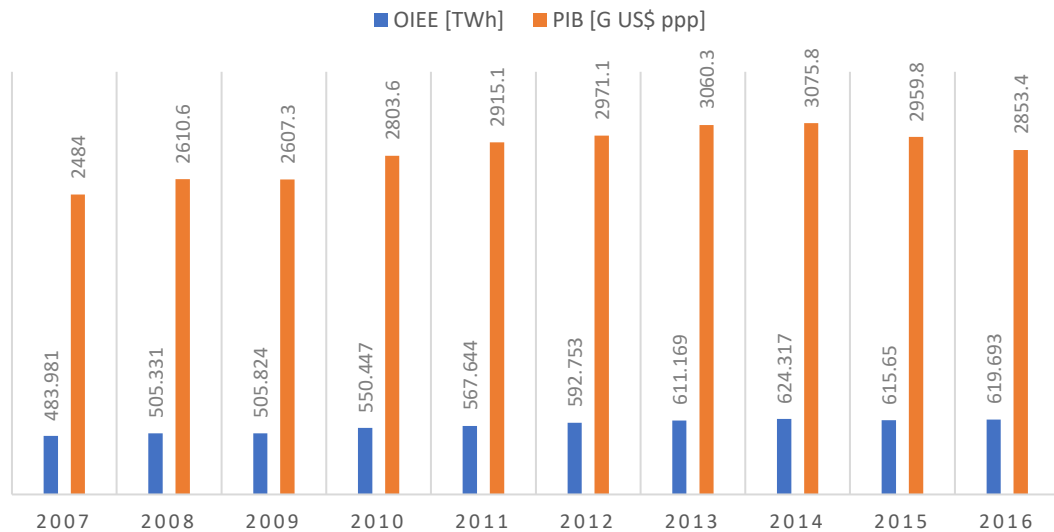
a contabilidade energética apresentada pelo BEN envolve processos de coletar de dados, tratamento e contabilização das informações energéticas cuja magnitude é proporcional ao país que representa, e a construção desta matriz energética no ano base atribui à sua elaboração um grau de complexidade expressivo, cuja determinante temporal principal a disponibilização de dados pela miríade de agentes e instituições que anualmente fornecem os dados primários.

Afim de se analisar a evolução histórica da Matriz Elétrica Brasileira, neste capítulo serão apresentados os dados da Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) por fonte, publicados no BEN. Será considerado o período referente ao Balanço Energético Nacional, dos anos de 2003 até o ano de 2018 (ano base 2002 a 2017, respectivamente).

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2017), a Oferta Interna de Energia (OIE) é a energia necessária para mover a economia do país, sendo a OIEE um dos subconjuntos da matriz energética (BRASIL, 2017). Assim, “a demanda energética de um país está fortemente correlacionada com sua atividade econômica, ou seja, o Produto Interno Bruto” (BRONZATTI; IAROZINSKI NETO, 2008). A Figura 3 mostra a relação entre a OIEE e o PIB entre os anos de 2007 a 2016.

Figura 3 - Oferta Interna de Energia Elétrica e PIB.

## OFERTA INTERNA DE ENERGIA ELÉTRICA E PIB

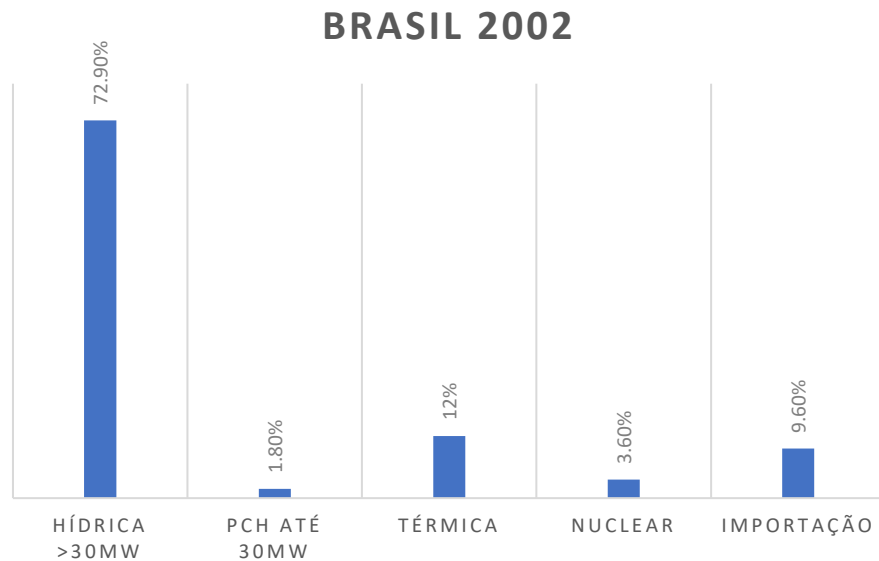


Fonte: Adaptado de BEN (2018).

O Brasil tem o terceiro maior setor elétrico da América (EIA, 2017) e, devido às suas dimensões continentais, apresenta inúmeras possibilidades para geração de energia elétrica, através das fontes hídricas, térmicas, eólicas e solar (SANTOS, 2015).

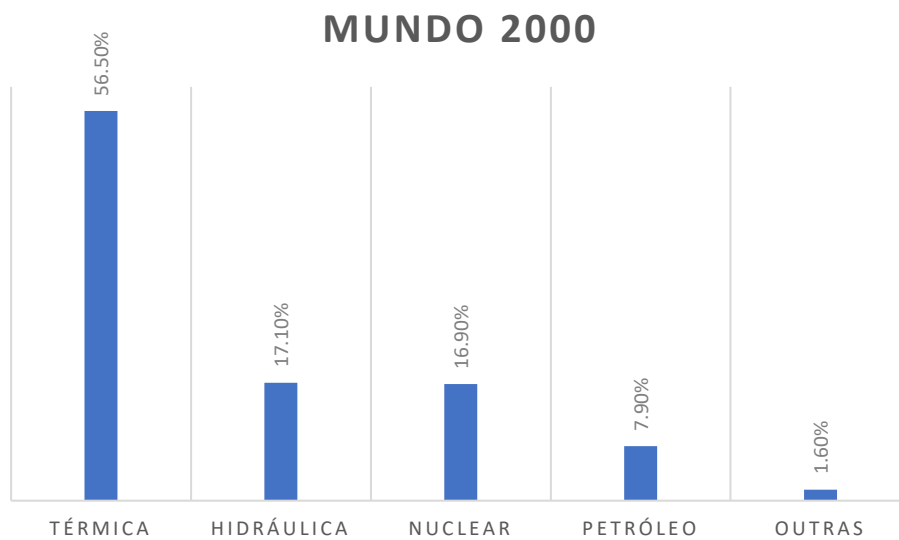
Desde a década de 80, o Brasil apresentou uma matriz diferente da correspondente mundial, com uma grande presença de fontes renováveis como a hidroeletricidade, incluindo a parcela paraguaia de Itaipu (VENTURA FILHO, 2009). Essa diferença pode ser visualizada nas Figuras 4 e 5, que comparam a Matriz de Energia Elétrica Mundial em 2000 com a do Brasil em 2002:

Figura 4 - Matriz de Oferta de Energia Elétrica no Brasil.



Fonte: Ministério de Minas e Energia (2003).

Figura 5 - Matriz de Oferta de Energia Elétrica no Mundo.



Fonte: Ministério de Minas e Energia (2003).

Entre os anos de 2002 e 2008, o Balanço Nacional Energético (BEN 2003 a BEN 2009) foi publicado classificando a estrutura de oferta interna de energia elétrica em 4 categorias:

- Hídrica – maior que 30 MW;
- Pequena Central Hidrelétrica (PCH) – menor ou igual a 30 MW;
- Térmica;

- Nuclear;
- Importação – inclui a parcela paraguaia de Itaipu.

Os dados são apresentados na Tabela 1, e uma comparação visual pode ser encontrada no Figura 6:

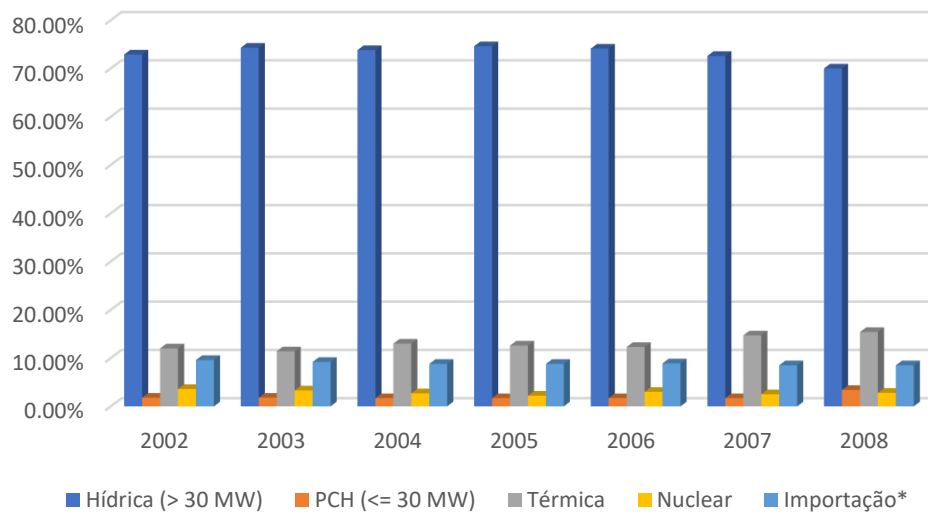
Tabela 1 - Estrutura da Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte.

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<b>Hídrica [%]</b>	72,9	74,3	73,8	74,6	74,1	72,6	70
<b>PCH [%]</b>	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7	3,4
<b>Térmica [%]</b>	12	11,4	13	12,6	12,3	14,7	15,4
<b>Nuclear [%]</b>	3,6	3,3	2,7	2,2	3	2,5	2,8
<b>Importação [%]</b>	9,6	9,2	8,8	8,8	8,9	8,5	8,5

Fonte: Adaptado de Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisa Energética (2018).

Figura 6 - Estrutura da Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte – 2002 a 2008.

Estrutura da oferta de Eletricidade - 2002 a 2008



Fonte: Adaptado de Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisa Energética (2018)

Observa-se que o Brasil apresenta uma matriz de geração de origem fortemente renovável, sendo a geração hidrelétrica responsável por mais de 70% da OIEE. Somando-se às importações, que também são de fontes renováveis (Itaipu), pode-se afirmar que cerca de 80% da energia elétrica produzida no país é de origem renovável (EPE, 2008).

Os dados apresentados no BEN da potência instalada e da OIEE do referido período são apresentados na Tabela 2:

Tabela 2 - Dados Balanço Energético Nacional 2002 a 2008.

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<b>Oferta Interna de Energia Elétrica [TWh]</b>	344,6	402,1	424,8	442	460,5	483,4	505,3
<b>Potência Instalada [GW]</b>	82,5	86,5	90,7	93,2	96,6	100,4	104

Fonte: Adaptado de Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisa Energética (2018).

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (2008):

A geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 663,1 TWh em 2008. (...) Importações líquidas de 42,9 TWh, somadas à geração interna, permitiram uma oferta interna de energia elétrica de 505,3 TWh.

Esse montante de geração de energia elétrica, em 2008, foi 46,6% superior que a geração de energia elétrica registrada em 2002. Em relação a potência instalada, houve um aumento de 26% entre os anos de 2002 e 2008.

Nos BEN de 2010 e 2011, ano base 2009 e 2010, respectivamente, a classificação das fontes de OIEE foi dividida em mais categorias:

- Hidráulica;
- Biomassa – inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações;
- Eólica;
- Gás natural;
- Derivados de petróleo;
- Nuclear;
- Carvão e derivados – inclui gás de coqueira;
- Importação.

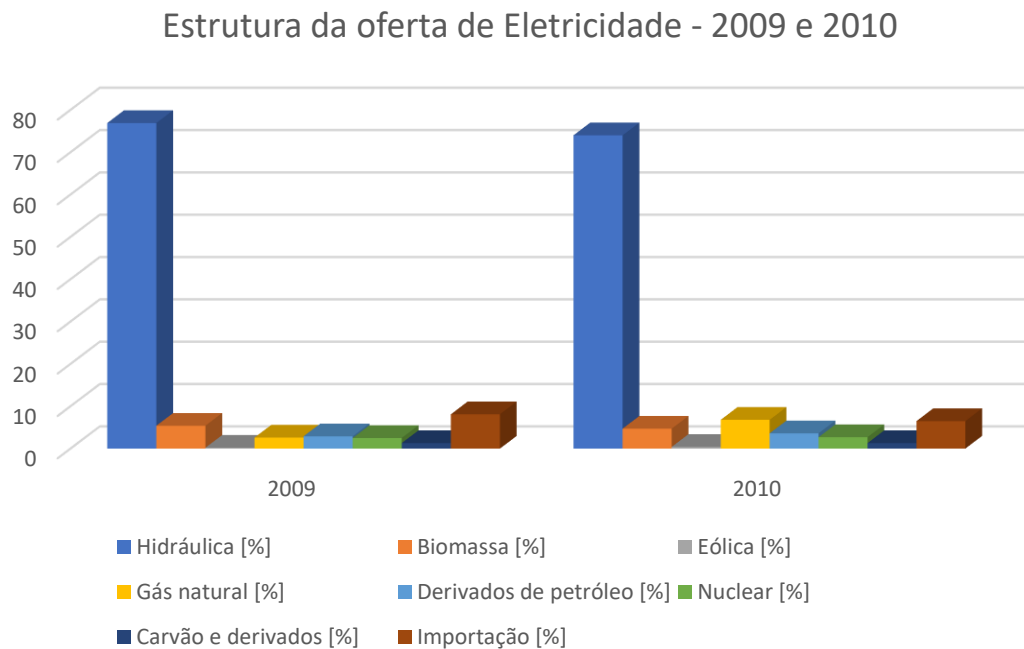
Os dados são apresentados na Tabela 3 e no Figura 7:

Tabela 3 - Estrutura da Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte.

	2009	2010
<b>Hidráulica [%]</b>	76,9	74,0
<b>Biomassa [%]</b>	5,4	4,7
<b>Eólica [%]</b>	0,2	0,4
<b>Gás natural [%]</b>	2,6	6,8
<b>Derivados de petróleo [%]</b>	2,9	3,6
<b>Nuclear [%]</b>	2,5	2,7
<b>Carvão e derivados [%]</b>	1,3	1,3
<b>Importação [%]</b>	8,1	6,5

Fonte: Adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (2018).

Figura 7 - Estrutura da Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte.



Fonte: Adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (2018).

A energia hidráulica corresponde a mais de 74% da oferta. Somando-se as importações, que também são de origem renovável, pode-se afirmar que aproximadamente 86% da energia elétrica é originada de fontes renováveis no Brasil. A geração eólica alcançou 2.176,6 GWh em 2010, representando um aumento de 75,8% em relação ao ano anterior, quando se alcançou 1.238,0 GWh. Esse crescimento decorreu da inauguração de catorze parques eólicos (EPE, 2011).

Dados apresentados no BEN, referentes a OIEE e a potência instalada nesse período são apresentados na Tabela 4:

Tabela 4 - Dados Balanço Energético Nacional.

	<b>2009</b>	<b>2010</b>
<b>Oferta Interna de Energia Elétrica [TWh]</b>	506,1	545,1
<b>Potência Instalada [GW]</b>	106,2	113,3

Fonte: Adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (2018).

Em 2010 “importações líquidas de 35,9 TWh, somadas à geração interna, permitiram uma oferta interna de energia elétrica de 545,1 TWh, montante 8,4% superior a 2009” (EPE, 2011). Entre os anos de 2002 e 2010, houve um aumento de 58,2%.

“Em 2010, com acréscimo de aproximadamente 7,1 GW, a capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil alcançou 113.327 MW, na soma das centrais de serviço público e autoprodutoras” (EPE, 2011). Isso representou um aumento de 6,7% em relação a 2009. No período de 2002 a 2010, houve um aumento de 37,3%.

Nos Balanços Energéticos Nacionais do período referente a 2011 a 2014, as parcelas de energia hidráulica e importação aparecem somadas, visto que corresponde a parcela paraguaia de Itaipu. Os dados são apresentados na Tabela 5 e na Figura 8:

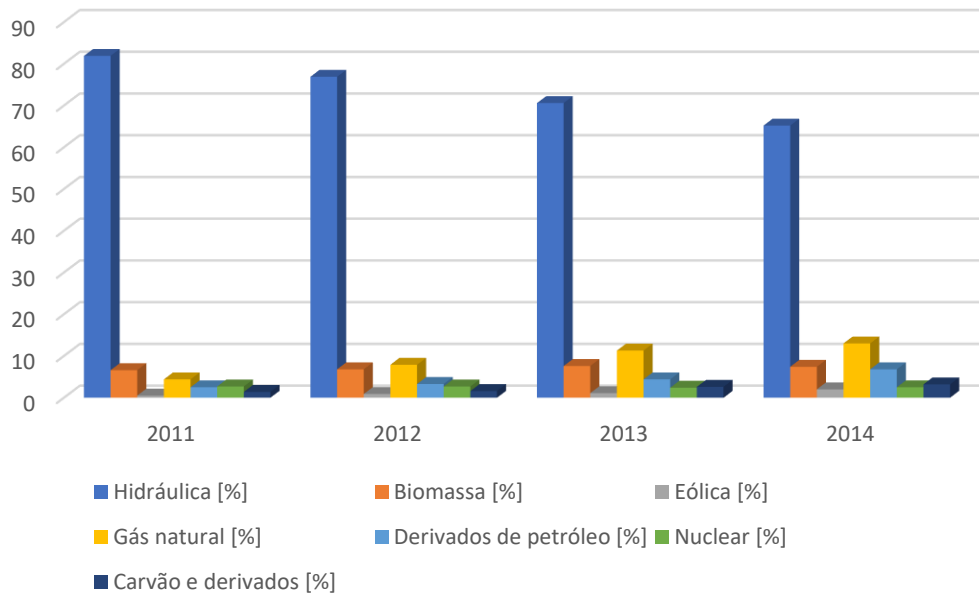
Tabela 5 - Estrutura da Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte.

	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
<b>Hidráulica [%]</b>	81,9	76,9	70,6	65,2
<b>Biomassa [%]</b>	6,6	6,8	7,6	7,4
<b>Eólica [%]</b>	0,5	0,9	1,1	2
<b>Gás natural [%]</b>	4,4	7,9	11,3	13
<b>Derivados de petróleo [%]</b>	2,5	3,3	4,4	6,8
<b>Nuclear [%]</b>	2,7	2,7	2,4	2,5
<b>Carvão e derivados [%]</b>	1,4	1,6	2,6	3,2

Fonte: Adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (2018).



Figura 8 - Estrutura da Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte.



Fonte: Adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (2018).

“A produção de eletricidade a partir da fonte eólica alcançou 12.210 GWh em 2014” (EPE, 2015), enquanto no ano de 2011 a produção foi de 2.705 GWh (EPE, 2012). Isso representa um aumento de 351,38%. Em relação a potência instalada de parques eólicos, em 2011 era de 1.426 MW (EPE, 2012) e em 2014 alcançou. 4.888 MW (EPE, 2015).

“Devido às condições hidrológicas desfavoráveis observadas ao longo do período, houve redução da oferta de energia hidráulica. Em 2014 o decréscimo foi de 5,6%” (EPE, 2015).

Dados pertinentes a OIEE e a potência instalada da matriz elétrica entre 2011 e 2014 são apresentados na Tabela 6:

Tabela 6 - Dados Balanço Energético Nacional.

	2011	2012	2013	2014
<b>Oferta Interna de Energia Elétrica [TWh]</b>	567,6	592,8	609,9	624,3
<b>Potência Instalada [GW]</b>	117,1	120,9	126,7	133,9

Fonte: Adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (2018).

Segundo o relatório publicado pela EPE (2015), “importações líquidas de 33,8 TWh, somadas à geração nacional, asseguraram uma oferta interna de energia

elétrica de 624,3 TWh”. Esse valor é 9,9% maior do que em 2011 e 81% superior a OIEE de 2002, que foi de 344,6 TWh.

O crescimento da potência instalada da matriz elétrica, entre 2011 e 2014, foi de 14,3% e, desde o ano de 2002, houve uma alta de 62,3%.

O Balanço Energético Nacional de 2016 (ano base 2015), começa a publicar informações referentes à micro e mini geração distribuída de eletricidade, cujo crescimento começou a ser incentivado por ações regulatórias (EPE, 2016).

Em 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica publicou a Resolução Normativa 482, considerada o marco regulatório da geração distribuída no Brasil (CAMARGOS; SHAYANI; OLIVEIRA, 2016), “que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências” (ANEEL, 2012). A Resolução Normativa 687, de 2015, veio para alterar e complementar a RN 482, trazendo outras opções para a compensação de energia, afim de facilitar e estimular a instalação de geração distribuída (CAMARGOS; SHAYANI; OLIVEIRA, 2016).

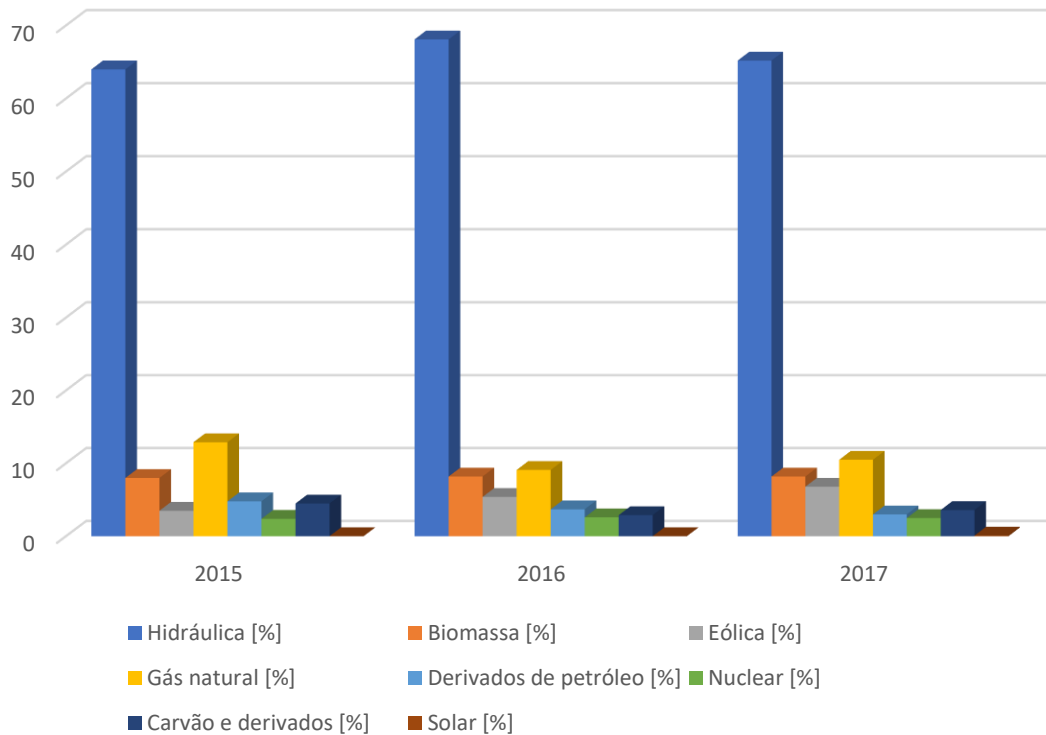
Os dados do BEN 2016 a 2018 são mostrados na Tabela 7 e na Figura 9:

Tabela 7 - Estrutura da Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte.

	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>Hidráulica [%]</b>	64	68.1	65.2
<b>Biomassa [%]</b>	8	8.2	8.2
<b>Eólica [%]</b>	3.5	5.4	6.8
<b>Gás natural [%]</b>	12.9	9.1	10.5
<b>Derivados de petróleo [%]</b>	4.8	3.7	3
<b>Nuclear [%]</b>	2.4	2.6	2.5
<b>Carvão e derivados [%]</b>	4.5	2.9	3.6
<b>Solar [%]</b>	0.01	0.01	0.1

Fonte: Adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (2018).

Figura 9 - Estrutura da Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte.



Fonte: Adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (2018).

A produção de energia elétrica através da fonte eólica alcançou 42.373 GWh em 2017 (EPE, 2018a). Isso representa um aumento de 1.466,4% em relação ao ano de 2001, que produziu 2.705 GWh (EPE, 2002).

“Em 2015, a geração distribuída atingiu 34,9 GWh com uma potência instalada de 16,5 MW, com destaque para a fonte solar fotovoltaica, com 20 GWh e 13,3 MW de geração e potência instalada respectivamente” (EPE, 2016). Em 2017, a potência instalada foi de 359 MW (EPE, 2018a), montante que representa um aumento de 2599,24% na geração distribuída.

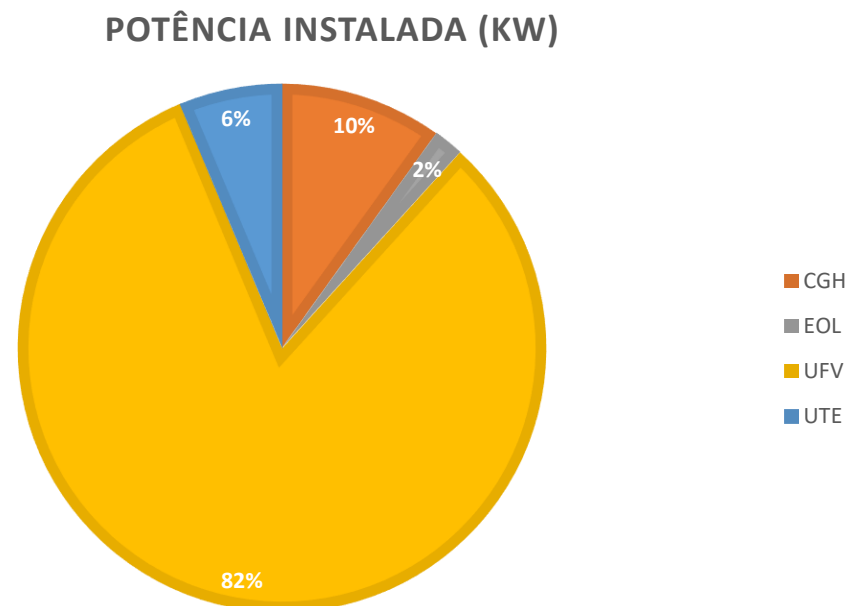
Dados recentes da ANEEL (2018a) contabilizam um total de 45.719 usinas, totalizando 561.604,17 kW de potência instalada de geração distribuída. Esses dados, por tipo de instalação, são apresentados na Tabela 8 e na Figura 10:

Tabela 8 – Tipos de Geração Distribuída.

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência Instalada (kW)</b>
<b>Central Geradora Hidrelétrica – CGH</b>	61	55.719,08
<b>Usinas Eólicas - EOL</b>	57	10.314,40
<b>Usinas Fotovoltaicas - UFV</b>	45.479	460.270,57
<b>Usinas Térmicas - UTE</b>	122	35.300,12
<b>Total</b>	<b>45.719</b>	<b>561.604,17</b>

Fonte: Adaptado ANEEL (2018).

Figura 10 - Percentagem de tipos de geração distribuída.



Fonte: Adaptado ANEEL (2018).

Um resumo da quantidade de usinas e potência de geração distribuída por estado é apresentado na Tabela 9. Os dados são da ANEEL (2018a):

Tabela 9 - Resumo da geração distribuída por estados brasileiros.

<b>UF</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência Instalada (kW)</b>
<b>MG</b>	8.612	145.281,34
<b>SP</b>	8.371	59.038,31
<b>RS</b>	6.041	74.758,79
<b>SC</b>	3.651	35.059,47
<b>PR</b>	3.130	35.224,05
<b>RJ</b>	2.975	29.221,20
<b>GO</b>	1.834	18.178,09
<b>CE</b>	1.299	30.831,33
<b>MT</b>	1.224	22.102,32
<b>ES</b>	1.153	8.371,49
<b>BA</b>	1.095	12.656,67
<b>MS</b>	1.008	11.649,35
<b>PE</b>	860	16.097,67
<b>RN</b>	679	11.027,72
<b>PB</b>	668	9.202,15
<b>DF</b>	644	9.325,02
<b>MA</b>	492	5.865,60
<b>PI</b>	455	8.076,36
<b>PA</b>	402	3.763,62
<b>TO</b>	334	2.894,79
<b>SE</b>	319	3.278,91
<b>AL</b>	240	2.943,10
<b>RO</b>	90	4.909,53
<b>AM</b>	67	639,46
<b>AP</b>	34	432,69
<b>AC</b>	33	530,57
<b>RR</b>	9	244,57

Fonte: Adaptado ANEEL (2018).

Os dados referentes a OIEE e a capacidade instalada de geração entre 2015 e 2017 são apresentados na Tabela 10:

Tabela 10 - Dados Balanço Energético Nacional.

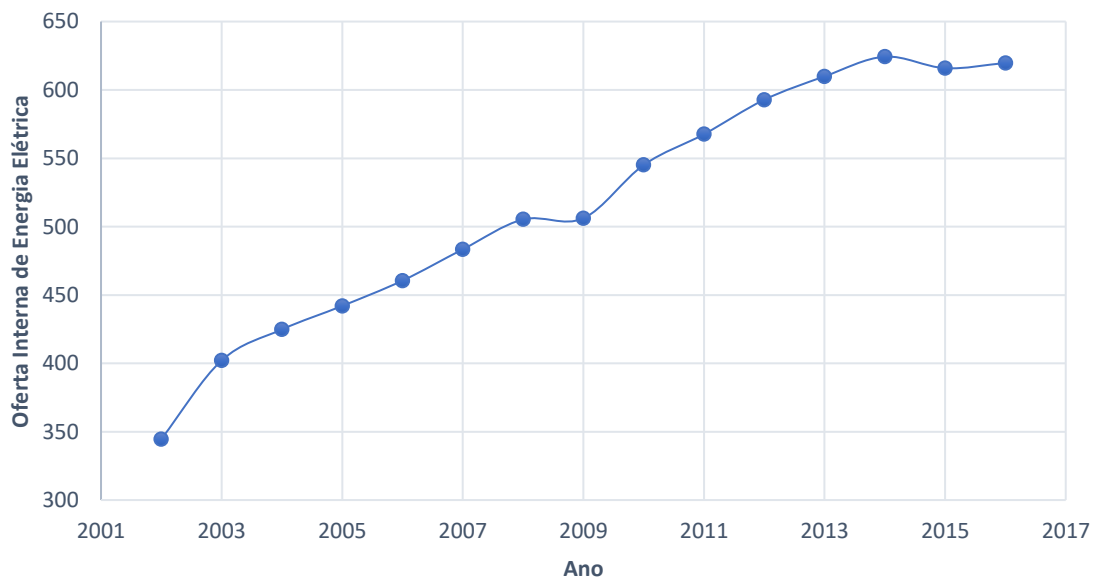
	2015	2016	2017
<b>Oferta Interna de Energia Elétrica [TWh]</b>	615,9	619,7	624,3
<b>Capacidade Instalada de Geração [GW]</b>	140,8	150,3	157,1

Fonte: Adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (2018).

A OIEE cresceu 4,2% entre 2015 e 2017, enquanto a capacidade instalada de geração teve um aumento de 11,6%.

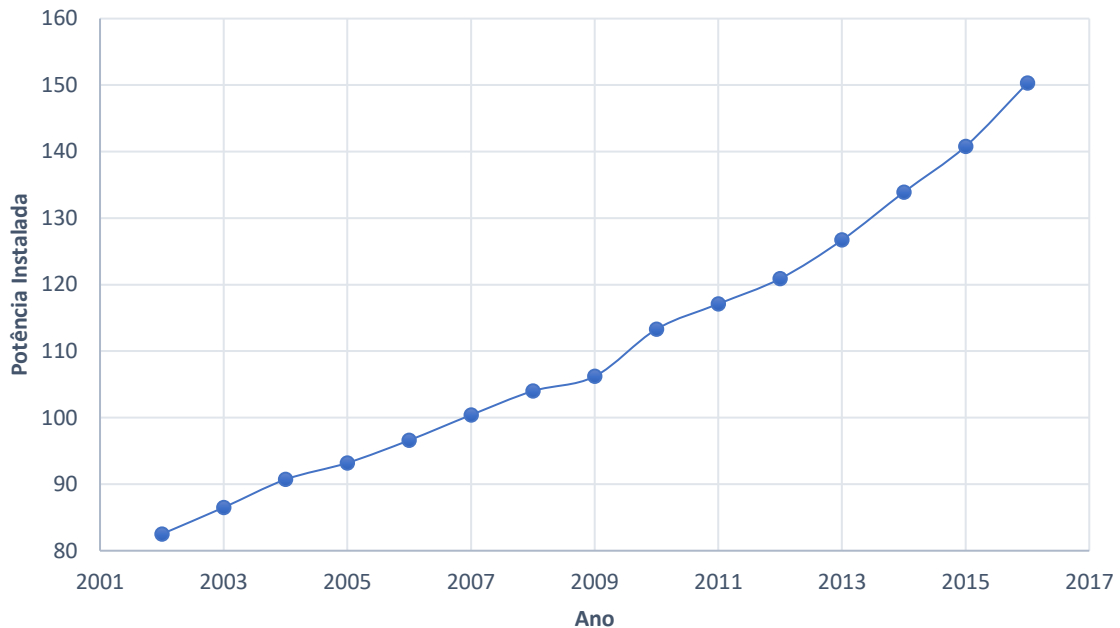
As Figura 11 e 12 mostram, respectivamente, a variação da oferta interna de energia elétrica (TWh) e a potência instalada (GW), desde 2002 até 2017.

Figura 11 - Oferta Interna de Energia Elétrica (TWh) entre 2002 e 2017.



Fonte: Autora (2018).

Figura 12 - Potência Instalada (GW) entre 2002 e 2017.



Fonte: Autora (2018)

Dados sobre o crescimento da OIEE e da capacidade instalada no período 2002-2017 são apresentados na Tabela 11:

Tabela 11 - Crescimento da OIEE e da Potência Instalada de Geração no período 2002 - 2017.

	<b>2002</b>	<b>2017</b>	<b>Δ 2002 / 2017</b>	<b>Δ ao ano</b>
<b>Oferta Interna de Energia Elétrica [TWh]</b>	344,6	624,3	81,16%	4,04%
<b>Potência Instalada [GW]</b>	82,5	157,1	90,42%	4,38%

Fonte: Autora (2018).

No período analisado, houve uma taxa de crescimento de 4,04% ao ano na oferta interna de energia elétrica e de 4,38% ao ano na potência instalada de geração.

Através dos dados do BEN, vemos que o Brasil apresenta uma matriz elétrica com grande presença de fontes renováveis, sendo a principal a hidroeletricidade. Devido a grande dependência de fatores externos (como regime de chuvas) para a geração de energia elétrica a partir das águas, uma matriz diversificada apresenta mais segurança ao setor. Ao longo de período analisado (2002 a 2017), houve a inserção de outras fontes renováveis na matriz brasileira: biomassa, eólica e solar.

A energia a partir da biomassa, que representava 5,4% da matriz em 2009, teve um aumento de 51,85%, passando a representar 8,2% da matriz elétrica brasileira em 2017. Isso representa um crescimento de 5,36% ao ano.

A energia eólica, que foi inserida na matriz em 2009 com uma participação de 0,2 % teve um crescimento de 3.300 % até 2017, onde sua representatividade na matriz chegou a 6,8 %. Essa variação representa um crescimento de 55,39% ao ano.

Já a energia solar, que é a mais recente das novas fontes renováveis, teve um crescimento de 900% entre os anos de 2015 (que representava 0,01%) e 2017 (0,1%). Houve um crescimento de 216,22% ao ano na fonte solar.

No próximo capítulo, serão analisadas as projeções futuras para essas fontes de energia elétrica.



## 4 PROJEÇÕES PARA A MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

Segundo dados da ONU (2017), a população mundial atual é quase 7,6 bilhões. Se o crescimento populacional continuar nesse ritmo, estima-se que a população chegue a 8,6 bilhões em 2030, 9,8 bilhões em 2050 e que ultrapasse 11,2 bilhões em 2100.

Essas projeções alertam não só pelo crescimento exponencial da população mundial, mas também pelas consequências e resultados desse aumento, como por exemplo na matriz energética. Neste capítulo, serão analisadas as tendências e projeções para a Matriz Elétrica Brasileira.

O setor elétrico é um dos poucos que conta com uma rotina de planejamentos. Todos os anos, a EPE e o MME divulgam os Planos Decenais de Energia (PDE), que apresentam a expansão da potência instalada nos próximos dez anos. É previsto também, na regulação do setor elétrico, planos de longo prazo. Os primeiros foram publicados em 2006 (Plano Nacional de Energia 2030 e Matriz Energética Brasileira 2030), e o segundo está sendo elaborado atualmente (Plano Nacional de Energia 2050) (IEMA, 2016). Um outro instrumento que sumariza essas informações é a Calculadora 2050, que “dispõe de premissas e cálculos sobre diversos setores de demanda, oferta de energia e eficiência da demanda, disponível em um arquivo em Excel, permitindo a construção de diferentes cenários para o ano de 2050” (RAMPINELLI; SILVA, 2017).

Há uma vasta bibliografia de modelos de expansão do SEB. De acordo com a EPE (2017a),

desde o PDE 2026 a EPE adotou um Modelo de Decisão de Investimento (MDI) para o planejamento da expansão, visando definir a expansão da oferta de energia elétrica (...). Neste modelo, a indicação da oferta é feita a partir de um modelo de decisão de investimentos, que define uma expansão ótima do sistema através da minimização do custo total de investimento e operação, sob condições de incertezas. Para o ciclo do PDE 2027 o MDI foi aprimorado. A principal modificação em relação ao apresentado em (Gandelman, 2015) é a consideração de discretização por patamares de carga.

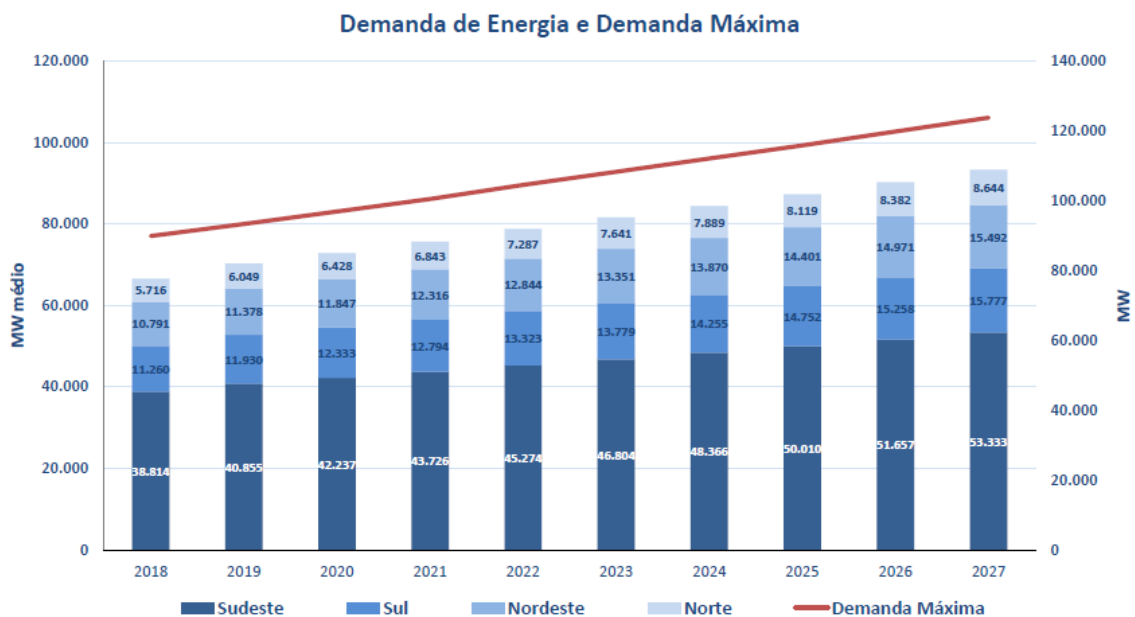
Não será aprofundada as discussões referentes ao modelo utilizado atualmente, visto que não é o intuito do trabalho. Deve-se ter em mente, porém, que a “modelagem é sempre uma aproximação da realidade, uma simplificação. Muitas vezes um modelo é simplificado para tratar o problema de interesse” (EPE, 2017a).

A Matriz Energética Nacional 2030 (MEN 2030), elaborado pelo MME (2007), utiliza o Modelo de Planejamento de Expansão da Geração de Longo Prazo (MELP)

para otimização da expansão da oferta de energia elétrica. Esse modelo foi desenvolvido pelo Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL), juntamente com a Eletrobrás.

É apresentado no PDE, a configuração de referência para o aumento da geração e das principais interligações dos sistemas regionais (TOLMASQUIM, 2012). Com base nas projeções econômicas do PDE 2027, os estudos pertinentes ao sistema de geração avaliam as projeções de carga de energia em todo o Sistema Interligado Nacional (SIN), entre os anos de 2018 e 2027, já incluso perdas de transmissão e o abatimento da geração distribuída. A média anual de crescimento do SIN nesse período, é em torno de 2.963 MW médios, que representa 3,7% ao ano. A Figura 13 representa a projeção de demanda do SIN no cenário de referência do PDE (EPE, 2018b).

Figura 13 - Projeção de carga.



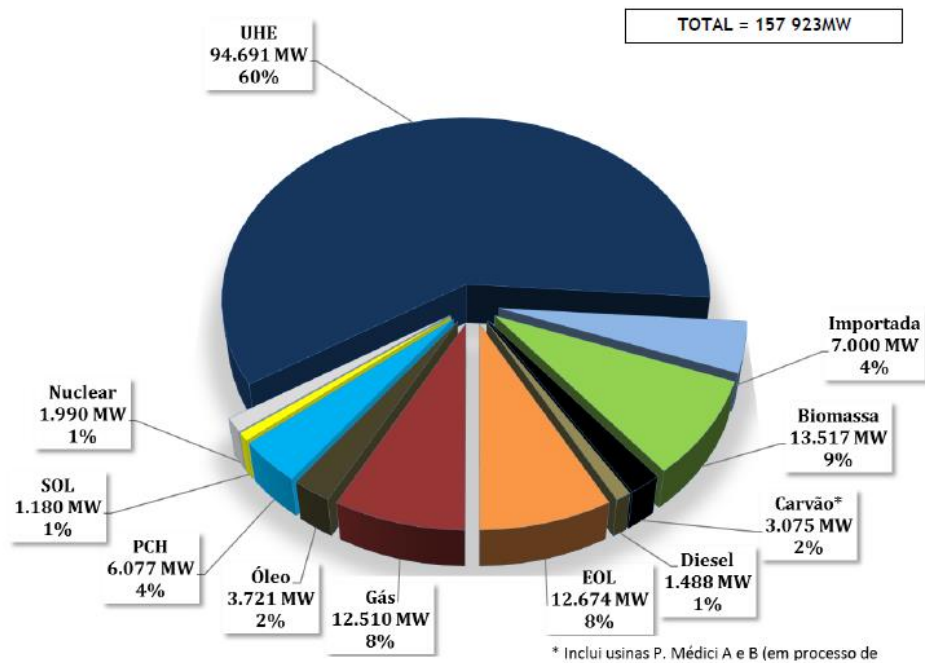
Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2018b).

Em 2030, é previsto um consumo de energia elétrica entre 950 e 1.250 TWh/ano (EPE, 2007), sendo que o consumo atual está em torno de 526,2 TWh (EPE, 2018a).

A análise para a programação da expansão usa como premissa a estrutura do sistema existente e a expansão contratada nos leilões passados. Até maio de 2018,

o SIN tinha uma capacidade instalada de pouco menos de 180 GW (Figura 14) (EPE, 2018b).

Figura 14 - Potência Instalada no SIN no final de maio de 2018.



Nota: O montante apresentado como PCH inclui também as CGH existentes

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2018b).

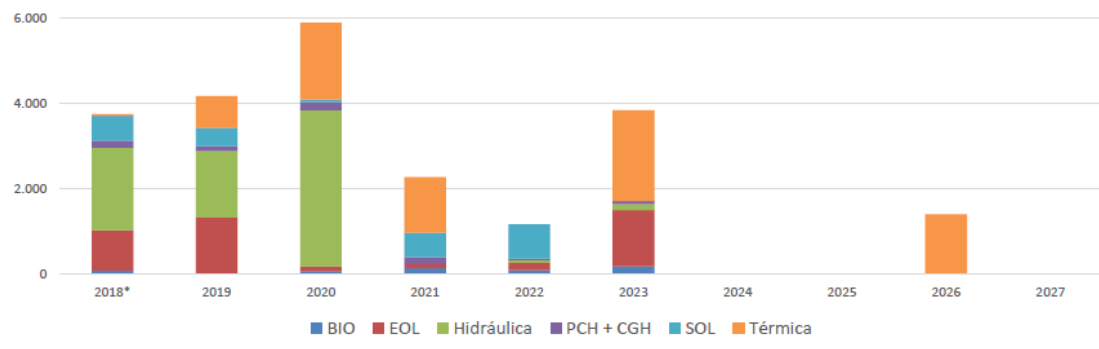
Os leilões sucedidos até abril de 2018 resultaram na contratação de 22.000 MW de potência instalada (Tabela 12). A Figura 15 representa visualmente essa expansão (EPE, 2018b):

Tabela 12 - Expansão contratada em leilões até abril de 2018: incremento anual de capacidade instalada (MW).

Fontes	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Biomassa + Biogás	81	0	55	129	82	177	0	0	0	0
Eólica	950	1.327	118	102	179	1.322	0	0	0	0
Hidráulica	1.933	1.563	3.667	0	62	142	0	0	0	0
PCH + CGH	168	115	193	162	37	67	0	0	0	0
Fotovoltaica	588	428	62	574	807	0	0	0	0	0
Térmica	28	746	1.802	1.305	0	2.139	0	0	1.405	0

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2018).

Figura 15 - Expansão contratada em leilões até abril de 2018: incremento anual da capacidade instalada (MW).



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2018).

O Anexo A apresenta a projeção do desenvolvimento da capacidade instalada do SIN no horizonte de dez anos classificada pelo tipo de fonte, considerando o parque atual contratado e a expansão de referência. A partir desses dados, a Tabela 13 representa a variação percentual da expansão da potência instalada no período de 2018 a 2027.

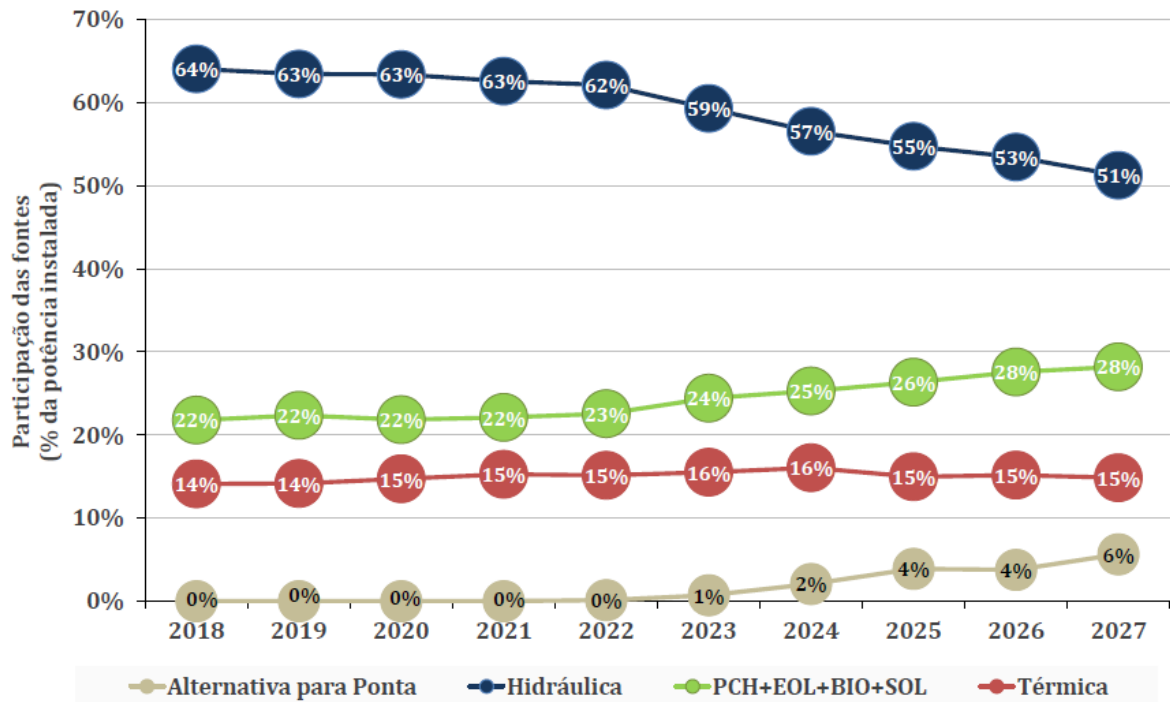
Tabela 13 - Variação percentual da expansão da potência instalada.

Fonte	2018	2027	$\Delta$ % 2018 / 2027
<b>Renováveis</b>	131.859	164.171	<b>24,50%</b>
Hidro	96.625	103.410	7,02%
PCH e CGH	6.245	8.868	42,00%
Eólica	13.624	26.672	95,77%
Biomassa + Biogás	13.598	16.583	21,95%
Solar Centralizada	1.768	8.639	388,63%
<b>Não renováveis</b>	22.812	31.980	<b>40,19%</b>
Urânio	1.990	3.395	70,60%
Gás natural	12.538	23.021	83,61%
Carvão	3.075	3.420	11,22%
Óleo combustível	3.721	1.368	- 63,24%
Óleo Diesel	1.488	776	- 47,85%
UTE Ciclo aberto + tecnologia de armazenamento	0	13.142	
<b>Total do SIN</b>	154.671	209.294	35,32
<b>Itaipu 50Hz</b>	7.000	7.000	
<b>Total disponível</b>	161.671	216.294	33,78

Fonte: Adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (2018).

A Figura 16 apresenta a participação das fontes no SIN em um horizonte decenal.

Figura 16 - Participação das fontes.



Nota: A participação de PCH inclui também empreendimentos clássicos como CGH.

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2018).

O PDE 2027 (EPE, 2018b) ressalta que, apesar da redução da participação de usinas hidrelétricas, o sistema continua com uma predominância de fontes renováveis. Isso se deve ao fato de que 53% da oferta indicativa é composta por eólica, solar, hidrelétricas (incluindo PCH e CGH), e diferentes tipos de biomassa (incluindo biogás). Além disso, o sistema contará com a substituição da oferta de UT movidas a óleo diesel e combustível (devido ao fim do contrato), por usinas a gás natural e com o início da operação de Angra 3. Em adição, o sistema contará com 13.000 MW de oferta para complementação da potência (33% da expansão indicativa).

Esse montante será composto por usinas termelétricas flexíveis, que poderão operar quando necessário, e tecnologias de armazenamento, como baterias e hidrelétricas reversíveis, que aumentarão a capacidade do sistema nos momentos de maior necessidade fazendo uso dos excedentes nos momentos de menor demanda (EPE, 2018b).

De acordo com dados da MEN 2030 (MME, 2007), ainda que se priorize à expansão da oferta de energia hidrelétrica, elevando-se para 80% do seu uso potencial (120.000 MW), poderia não ser o bastante para atender à demanda até 2030. Assim, apesar da prioridade que possa merecer a hidroeletricidade na expansão da oferta, é correto admitir que outras fontes deverão compor essa expansão. A Tabela 14 resume, em termos regionais, a expansão da oferta de energia elétrica prevista no MEN 2030:

Tabela 14 - Expansão da Oferta de Energia Interna no Período 2015 - 2030, por região geográfica (em MW).

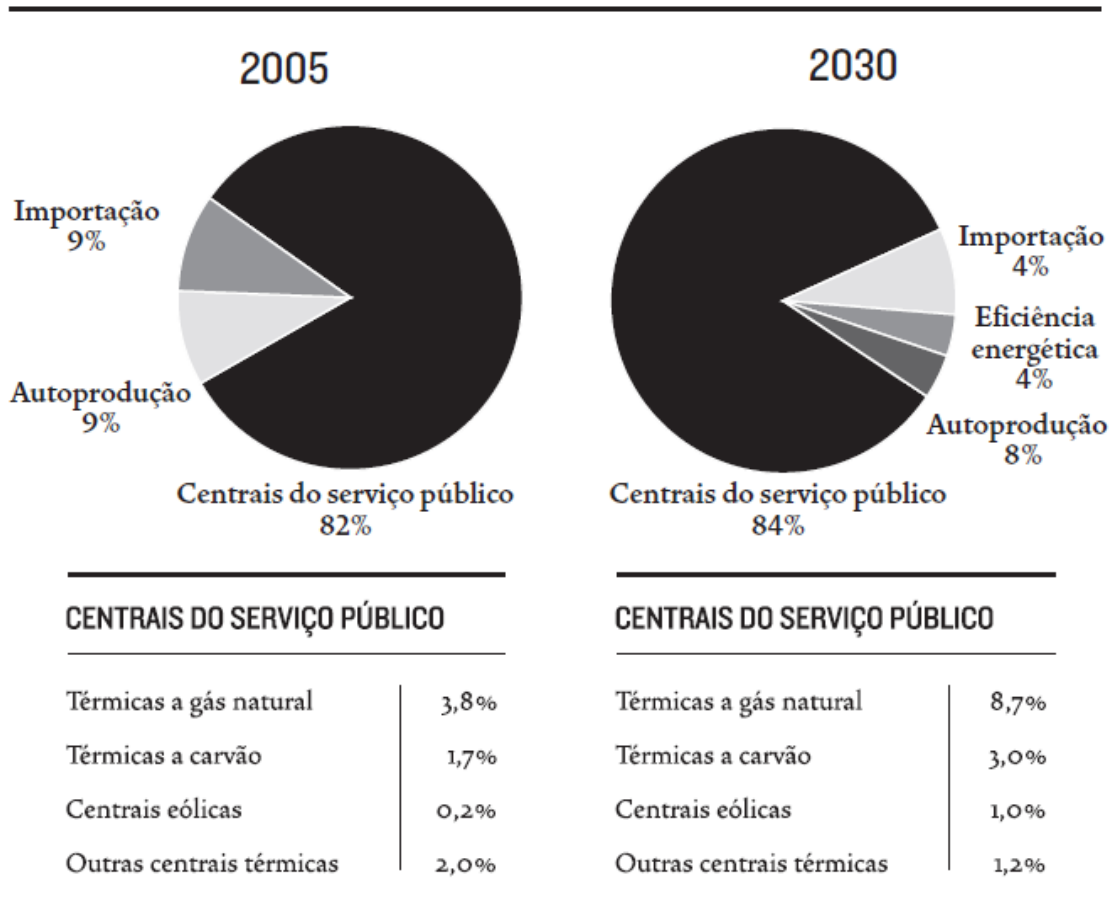
Fonte	Norte	Nordeste	Sudeste <sup>1</sup>	Sul	TOTAL
<b>Hidrelétricas</b>	<b>43.720</b>	<b>580</b>	<b>8.860</b>	<b>4.140</b>	<b>57.300</b>
Grande porte <sup>2</sup>	43.720	580	8.860	4.140	57.300
<b>Térmicas</b>	<b>0</b>	<b>5.500</b>	<b>6.000</b>	<b>4.000</b>	<b>15.500</b>
Gás natural	0	3.500	4.000	500	8.000
Nuclear	0	2.000	2.000	0	4.000
Carvão	0	0	0	3.500	3.500
Outras	- <sup>3</sup>	0	0	0	- <sup>3</sup>
<b>Alternativas</b>	<b>0</b>	<b>3.950</b>	<b>8.000</b>	<b>3.400</b>	<b>15.350</b>
PCH	0	500	4.000	1.500	6.000
Centrais eólicas	0	2.200	0	1.100	3.300
Biomassa da cana	0	950	3.300	500	4.750
Resíduos urbanos	0	300	700	300	1.300
<b>TOTAL</b>	<b>43.720</b>	<b>10.030</b>	<b>22.860</b>	<b>11.540</b>	<b>88.150</b>

Notas: 1) inclui Centro-Oeste; 2) inclui hidrelétricas binacionais; 3) valores numericamente pouco significativos, correspondentes à expansão da carga do sistemas isolados remanescente (0,2% do consumo nacional)

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2007).

Estima-se que a participação da oferta de energia hidráulica, da ordem de 90% em 2005, cairia para pouco mais de 70% em 2030. A geração de energia elétrica a partir de fontes térmicas convencionais (como nuclear, gás natural e carvão mineral) aumentaria sua participação de 7% para 15%. Fontes renováveis, como a biomassa da cana de açúcar, centrais eólicas e resíduos urbanos também irão expandir sua capacidade, respondendo por mais de 4% da oferta de eletricidade (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007). A Figura 17 apresenta a evolução da estrutura da oferta de eletricidade no Brasil, em 2005 e em 2030.

Figura 17 - Evolução da estrutura da oferta de eletricidade.

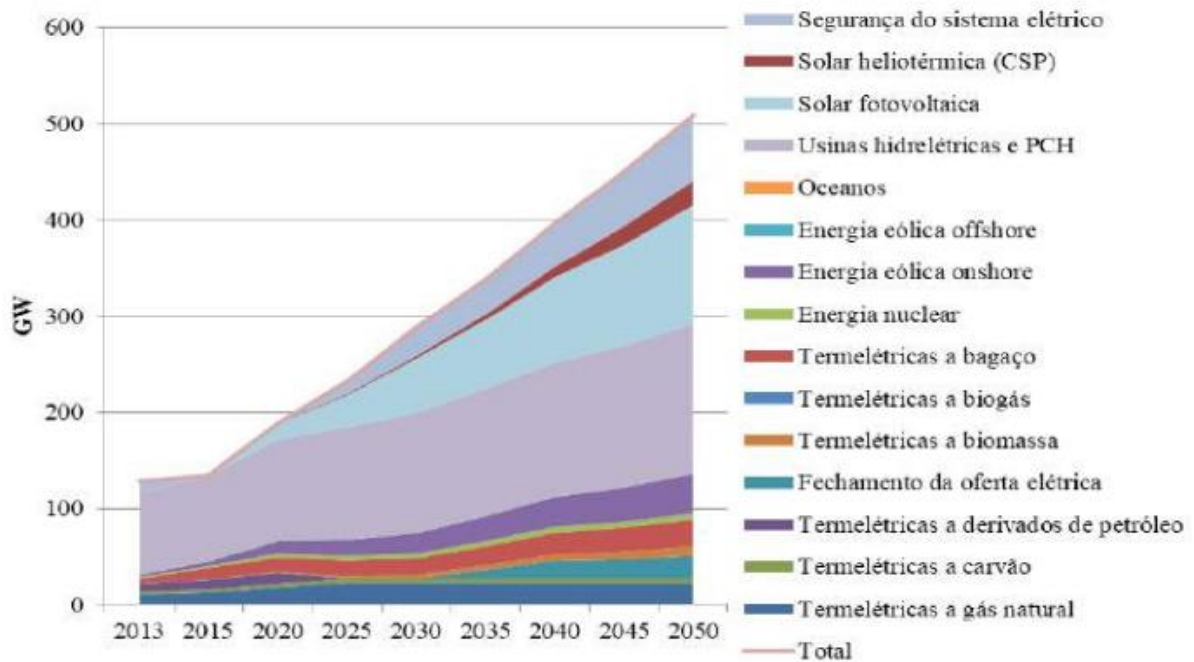


Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2007).

Segundo Bronzatti e Neto (2008), para suprir a queda do potencial de geração hidrelétrica, a partir de 2020 outras fontes poderão aumentar sua participação no quadro de geração de elétrica. Isso deve ocorrer em dois períodos distintos devido ao grau de maturidade das tecnologias. O primeiro momento, a partir de 2010, o gás natural exibe uma capacidade complementar de cerca de 480 TWh/ano, que proporciona o suprimento da necessidade de energia elétrica. Num segundo momento, a partir de 2020, quando as tecnologias para geração de fontes eólicas e solar estiverem mais consolidadas e com menor custo, a maior participação dessas matrizes energéticas é fundamental.

De acordo com a Calculadora 2050, a potência instalada estimada para o referente ano é de 509 GW, representando um aumento de 280% em relação ao ano de 2015 (SILVA; RAMPINELLI, 2017). A Figura 18 apresenta a potência instalada total e por fonte até o ano de 2050:

Figura 18 - Potência instalada por fonte em 2050.



Fonte: Silva e Rampinelli (2017).

No período analisado no estudo, a participação de fontes renováveis na geração elétrica aumentou. Exemplos são a fonte solar, que passou de 0% para 16,1% e a fonte eólica, que foi de 1,1% para uma contribuição de 7,9%. Isso demonstra uma menor dependência das hidrelétricas para o ano de 2050. Em relação às fontes não renováveis, houve uma diminuição dos derivados de petróleo e carvão mineral, porém haverá maior utilização de gás natural, por razão do aproveitamento do gás não convencional. Por essa razão, de acordo com a Calculadora 2050, o percentual de participação na MEB das fontes renováveis e não renováveis foi semelhante ao ano de 2013 (SILVA; RAMPINELLI, 2017).

Todos os instrumentos analisados (PDE 2027, MEN 2030 e Calculadora 2050) apontam uma redução na dependência de energia a partir de hidrelétricas. Porém, a predominância de fontes renováveis deverá continuar, devido a maior participação das fontes eólica, solar, biomassa e resíduos urbanos. Em relação as fontes não renováveis, a matriz contará com a substituição da oferta de usinas termelétricas movidas a derivados do petróleo e carvão por usinas a gás natural.



## 5 PERSPECTIVAS DA GERAÇÃO CENTRALIZADA COM USINAS FOTOVOLTAICAS

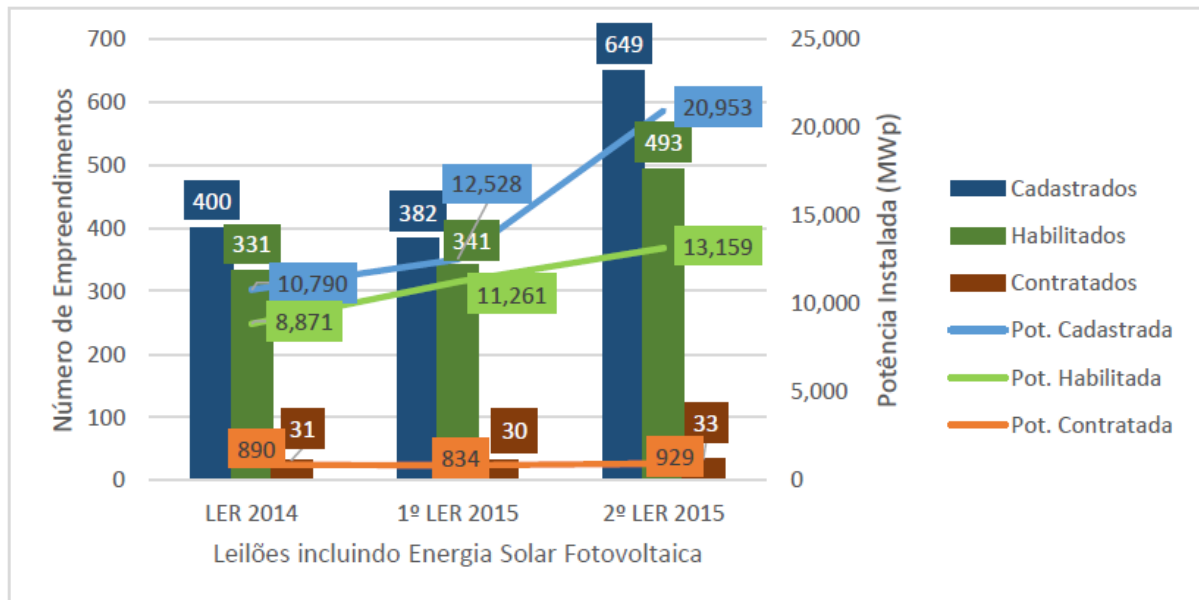
Segundo Shayani, Oliveira e Camargo (2006) “a forma de utilização preponderante da energia elétrica é a geração centralizada em grandes usinas, as quais transportam a eletricidade por extensas linhas de transmissão até os centros de consumo”. Geralmente, os projetos de geração centralizada de energia são aqueles contratados através dos leilões de energia, com contratos celebrados no Ambiente de Contratação Regulada (NASCIMENTO, 2017).

De acordo com a EPE (2014),

em 2013, o Ministério de Minas e Energia (...) incluiu a fonte solar (fotovoltaica e heliotérmica) nos leilões de energia A-3/2013 e A-5/2013, respectivamente, abrindo a possibilidade de competir igualmente com outras fontes, como eólica e térmicas, na modalidade “por disponibilidade”. Apesar de grande interesse na participação do leilão, nenhum projeto fotovoltaico foi vendido nestes certamos, por terem custos mais elevados.

Até 2015, foram realizados três leilões com a contratação efetiva de novos projetos em energia fotovoltaica. Ao todo, 1.431 empreendimentos (44.269 MWp) foram cadastrados para os leilões. No LER 2014, entre os 400 empreendimentos registrados, 31 venceram (890 MW). No 1º LER 2015, dos 382 projetos registrados, 30 foram contratados, sendo a potência total contratada de 834 MW. Já no 2º LER 2015, dos 649 registrados, 33 foram contratados, com uma potência total de 929 MW (SILVA, 2016). As informações são apresentadas na Figura 19:

Figura 19 - Números referentes aos leilões realizados no Brasil até 2015, contemplando a contratação de energia fotovoltaica.



Fonte: Silva (2016).

Em 2016, não houve leilões de fonte solar fotovoltaico devido à queda na previsão de demanda por energia elétrica (NASCIMENTO, 2017).

No Leilão A-4/2017, houve 574 empreendimentos cadastrados. Destes, 20 foram contratados, com uma potência total de 574 MW. Em 2018, no Leilão A-4/2018, dos 620 projetos cadastrados, 29 ganharam, somando uma potência total de 807 MW (EPE, 2018c).

O grande destaque desses dois últimos leilões foram os preços de venda obtidos, consideravelmente menores que dos leilões anteriores. A tabela 16 apresenta as quantidades comercializadas, o preço de venda nos leilões e o preço-teto estabelecido em cada competição.

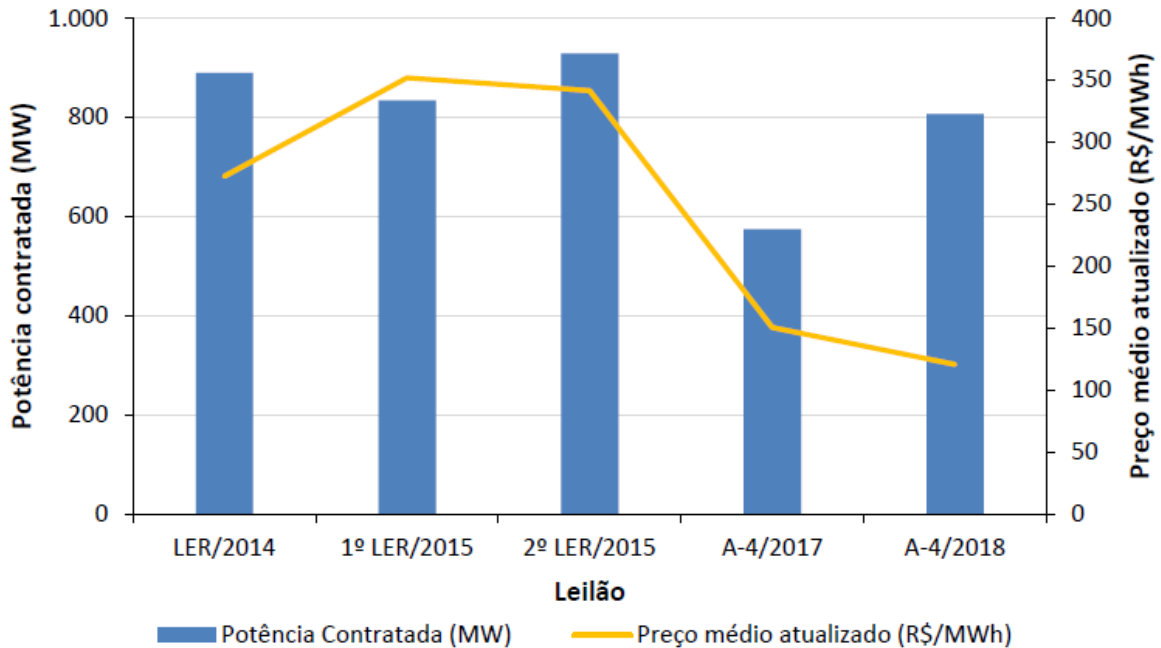
Tabela 14 – Quantidades comercializadas e preços de venda.

Leilão	Projetos contratados	Potência comercializada (MW)	Preço-teto (R\$/MWh)	Preço médio na data do leilão (R\$/MWh)	Preço médio atualizado <sup>4</sup> (R\$/MWh)
LER/2014	31	890	262,0	215,1	272,5
1º LER/2015	30	834	349,0	301,79	351,85
2º LER/2015	33	929	381,0	297,75	341,72
A-4/2017	20	574	329,0	145,7	150,5
A-4/2018	29	807	312,0	118,1	120,6

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2018c).

Nos dois últimos leilões, constata-se que os preços médios foram inferiores à metade daqueles alcançados nos leilões de 2015. A Figura 20 mostra, de forma gráfica, as informações referentes às potências contratadas e preços médios dos leilões:

Figura 20 - Potências contratadas e preços médios de cada leilão.



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2018c).

Atualmente, o Brasil possui 1.940,9 MW de energia solar fotovoltaica instaladas (0,93%), sendo que 460,27 MW correspondem à geração distribuída (ANEEL, 2018a) e 1.480,7 MW à geração centralizada (ANEEL, 2018b).

De acordo com Silva (2015),

é uma questão de tempo para que as tecnologias de energia solar se tornem de fato competitivas, sem subsídios, não somente para aplicações em geração distribuída, mas também em projetos de grande escala. (...) A estabilidade regulatória e a redução das incertezas no setor elétrico contribuirão para que os investidores decidam por alocar recursos na geração de energia elétrica de fonte solar, de forma centralizada ou distribuída.

Os leilões para contratação de energia são excelentes oportunidades para que essa fonte de energia renovável cresça, visando minimizar possíveis distorções na matriz elétrica brasileira.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo realizar um levantamento bibliográfico da Matriz Elétrica Brasileira, afim de se analisar seu histórico e estimar projeções e tendências.

Para isso, foram apresentadas a estrutura e reformas ocorridas no Setor Elétrico Brasileiro até o Novo Modelo, vigente desde 2004. As instituições do SEB responsáveis por conduzir políticas energéticas e estudos e pesquisas destinadas a subsidiar esse planejamento são o MME e a EPE, respectivamente.

Uma de suas atribuições é elaborar e publicar, anualmente, o Balanço Energético Nacional, que é o documento que divulga a contabilidade referente à oferta e ao consumo de energia no país, sendo uma referência nos estudos de planejamento do setor.

A análise dos dados de Oferta Interna de Energia Elétrica publicados no BEN 2003 ao BEN 2017 mostrou uma forte participação de fontes renováveis, especialmente a hídrica.

Dados da ONU apontam para um crescimento exponencial na população, o que alerta para as consequências desse crescimento na MEB. O setor elétrico conta com uma rotina de planejamentos e o MME e a EPE divulgam, todos os anos, os Planos Decenais de Energia e publicou, em 2006, o primeiro plano de longo prazo (Plano Nacional de Energia 2030). A partir da análise desses, verificou-se que apesar da diminuição da participação de energia hidráulica, as fontes renováveis continuam predominantes devido ao crescimento da oferta de energia eólica, solar, biomassa e hidrelétricas (PCH e CGH).

Vendo a necessidade de investimentos em fontes alternativas à hidrelétrica, foram apresentadas as perspectivas da geração centralizada de energia a partir de usinas fotovoltaicas. Desde 2013, a fonte solar participa dos leilões de energia, e só este ano, no 1º LER 2018, foram contratadas 29 usinas fotovoltaicas, com potência de 1.032,5 MWp.

Através do desenvolvimento desse trabalho, pode-se verificar o quanto a MEB é fortemente dependente de uma única fonte: hidrelétrica. Porém, históricos de crises hídricas comprovam que uma matriz energética diversificada é mais segura. A análise do planejamento do governo decenal e a longo prazo, mostra que é possível manter uma matriz elétrica limpa e sustentável, com a inserção de fontes como eólica e solar.

Pode-se notar a importância do estudo e planejamento do setor energético, afim de se buscar uma maior eficiência e menores custos de projetos. Investimentos em fontes renováveis eólica e solar, desde o Leilão de Energia até investimentos na indústria/fabricação, também são necessários afim de se obter uma maior diversificação da matriz elétrica.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, José Álvaro Jardim de. **P&D no Setor Elétrico Brasileiro: Um estudo de caso na companhia hidro elétrica do São Francisco**. 2008. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia, Programa de Pós-graduação em Economia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008. Disponível em: <[https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/4441/1/arquivo6061\\_1.pdf](https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/4441/1/arquivo6061_1.pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2018.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). (2012). Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.. . Brasília, Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2018.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Banco de Informações de Geração**. 2018b. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 02 nov. 2018.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Unidades Consumidoras com Geração Distribuída**. 2018a. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset\\_publisher/mJhnKli7qcJG/content/registro-de-central-geradora-de-capacidade-reduzida/655808?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Foutorgas%2Fgeracao%3Fp\\_p\\_id%3D101\\_INSTANCE\\_mJhnKli7qcJG%26p\\_p\\_ifecycle%3D0%26p\\_p\\_state%3Dnormal%26p\\_p\\_mode%3Dview%26p\\_p\\_col\\_id%3Dcolumn-2%26p\\_p\\_col\\_pos%3D1%26p\\_p\\_col\\_count%3D2](http://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset_publisher/mJhnKli7qcJG/content/registro-de-central-geradora-de-capacidade-reduzida/655808?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Foutorgas%2Fgeracao%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_mJhnKli7qcJG%26p_p_ifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2)>. Acesso em: 05 nov. 2018.

Brasil. **Oferta de energia elétrica no País será 2,6% maior em 2017**. 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/infraestrutura/2017/03/oferta-de-energia-eletrica-no-pais-sera-2-6-maior-em-2017>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

BRONZATTI, Fabricio Luiz; IAROSINSKI NETO, Alfredo. Matrizes Energéticas no Brasil: Cenário 2010 - 2030. In: 28 ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** . Rio de Janeiro: Enegep, 2008. v. 1, p. 1 - 15. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008\\_tn\\_sto\\_077\\_541\\_11890.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_tn_sto_077_541_11890.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2018.

CAMARGO, Luiz Gustavo Barduco Gugler. **O Setor Elétrico Brasileiro e sua normatização contemporânea**. 2005. 358 f. TCC (Graduação) - Curso de Direito, Centro de Ciências Jurídicas e Sociais Aplicadas, Universidade Católica de Santos, Santos, 2005. Disponível em: <[http://wap.aneel.gov.br/documents/656835/14876412/Monografia\\_Luiz\\_Gustavo.pdf/d997ce00-7c36-4c8f-82d9-020a58f6902b](http://wap.aneel.gov.br/documents/656835/14876412/Monografia_Luiz_Gustavo.pdf/d997ce00-7c36-4c8f-82d9-020a58f6902b)>. Acesso em: 01 set. 2018.

CAMARGOS, Ronaldo Sérgio Chacon; SHAYANI, Rafael Amaral; OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves de. Método para Análise Comparativa dos Impactos Técnicos da Geração Distribuída Fotovoltaica Concentrada e Pulverizada. **Revista Brasileira de Energia Solar**, Brasília, v. 7, n. 2, p.115-122, 02 dez. 2016. Disponível em: <<https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/154/152>>. Acesso em: 01 nov. 2018.

CASTRO, Marco Aurélio Lenzi. **Análise dos riscos de uma distribuidora associados à compra e venda de energia no novo modelo do setor elétrico**. 2004. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2004. Disponível em: <[http://wap.aneel.gov.br/documents/656835/14876412/Dissertacao\\_Marco\\_Aurelio.pdf/248ba10c-035c-4f97-8c53-bec01dd3e6a4](http://wap.aneel.gov.br/documents/656835/14876412/Dissertacao_Marco_Aurelio.pdf/248ba10c-035c-4f97-8c53-bec01dd3e6a4)>. Acesso em: 14 set. 2018.

CCEE. . **Visão Geral das Operações na CCEE**. 2010. Disponível em: <[http://www.ufjf.br/andre\\_marcato/files/2010/06/Visao\\_Geral\\_das\\_Operacoes\\_CCEE\\_2010.pdf](http://www.ufjf.br/andre_marcato/files/2010/06/Visao_Geral_das_Operacoes_CCEE_2010.pdf)>. Acesso em: 30 jul. 2018.

CUBEROS, Fábio Luiz. **Novo Modelo Institucional do Setor Elétrico Brasileiro: Análise dos mecanismos de mitigação de riscos de mercado das distribuidoras**. 2008. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-07112008-095055/pt-br.php>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. . **Country Analysis Brief: Brazil**. E.U.A. 2017. Disponível em: <[https://www.eia.gov/beta/international/analysis\\_includes/countries\\_long/Brazil/brazil.pdf](https://www.eia.gov/beta/international/analysis_includes/countries_long/Brazil/brazil.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2018.

Eletronuclear. **Caderno Institucional**. 2018. Disponível em: <<http://online.pubhtml5.com/fqry/mbds/#p=7>>. Acesso em: 15 ago. 2018.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanço Energético Nacional 2006**. Brasília: EPE, 2006. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/BEN2006\\_Versao\\_Completa.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/BEN2006_Versao_Completa.pdf)>. Acesso em: 01 out. 2018.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanço Energético Nacional 2007**. Brasília: EPE, 2007. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/BEN2007\\_Versao\\_Completa.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/BEN2007_Versao_Completa.pdf)>. Acesso em: 14 out. 2018.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanço Energético Nacional 2008**. Brasília: EPE, 2008. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2008.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2008.pdf)>. Acesso em: 03 out. 2018.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanço Energético Nacional 2009**. Brasília: EPE, 2009. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2009.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2009.pdf)>. Acesso em: 03 set. 2018.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanço Energético Nacional 2010**. Brasília: EPE, 2010. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2010.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2010.pdf)>. Acesso em: 07 set. 2018.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanço Energético Nacional 2011**. Brasília: EPE, 2011. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2011.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2011.pdf)>. Acesso em: 07 set. 2018.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanço Energético Nacional 2012**. Brasília: EPE, 2012. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2012.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2012.pdf)>. Acesso em: 07 set. 2018.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanço Energético Nacional 2013**. Brasília: EPE, 2013. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2013.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf)>. Acesso em: 01 set. 2018.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanço Energético Nacional 2014**. Brasília: EPE, 2014. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2014.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf)>. Acesso em: 01 set. 2018.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanço Energético Nacional 2015**. Brasília: EPE, 2015. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2015.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf)>. Acesso em: 01 set. 2018.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanço Energético Nacional 2016**. Brasília: EPE, 2016. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2016.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf)>. Acesso em: 03 set. 2018.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanço Energético Nacional 2017**. Brasília: EPE, 2017. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2017.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf)>. Acesso em: 02 set. 2018.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanço Energético Nacional 2018**. Brasília: EPE, 2018a. Disponível em: <<http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2018.



Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Estudos para a expansão da geração**. Brasília: EPE, 2017. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-332/topico-425/NT\\_MDI\\_EPE-DEE-RE-54-2018\\_r0.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-332/topico-425/NT_MDI_EPE-DEE-RE-54-2018_r0.pdf)>. Acesso em: 13 set. 2018.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Nota Técnica DEA 19/14 – Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos**. Rio de Janeiro, outubro/2014.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2027**. Brasília: EPE, 2018b. 341 p. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-332/PDE%202027.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2018.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Projetos Fotovoltaicos nos Leilões de Energia: Características dos empreendimentos participantes nos leilões de 2013 a 2018**. 2018c. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-330/EPE-DEE-NT-091\\_2018-r0.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-330/EPE-DEE-NT-091_2018-r0.pdf)>. Acesso em: 01 nov. 2018.

Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA). São Paulo: IEMA, 2016. Disponível em: <<https://iema-site-staging.s3.amazonaws.com/IEMA-informe-02.pdf>>. Acesso em 10 set. 2018.

ITAIPU BINACIONAL. **Nossa História**. 2018. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/nossa-historia>>. Acesso em: 20 set. 2018.

JANUÁRIO, Alexandra Cristina Vidal. **O mercado de energia elétrica de fontes incentivadas: proposta para sua expansão e implicações na câmara de comercialização de energia elétrica**. 2007. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-25062007-164745/pt-br.php>>. Acesso em: 13 jul. 2018.

LORENZO, Helena Carvalho de. O Setor Elétrico Brasileiro: Passado e futuro. **Perspectivas**, São Paulo, v. 24/25, p.147-170, 2001. Disponível em: <<https://periodicos.fclar.unesp.br/perspectivas/article/view/406/291>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Oferta Interna de Energia registra 44% de fontes renováveis em 2016**. 2017. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset\\_publisher/32hLrOzMKwWb/content/oferta-interna-de-energia-registra-44-de-fontes-renovaveis-em-2016](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/oferta-interna-de-energia-registra-44-de-fontes-renovaveis-em-2016)>. Acesso em: 10 ago. 2018.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Balanco Energético Nacional 2003**. Brasília: SEN/MME, 2003. Disponível em: <[http://www.agg.ufba.br/ben2003/BEN2003\\_port.pdf](http://www.agg.ufba.br/ben2003/BEN2003_port.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2018.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Balço Energético Nacional 2004**. Brasília: SEN/MME, 2004. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/balanco-energetico-nacional?p\\_p\\_id=20&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&\\_20\\_struts\\_action=%2Fdocument\\_library%2Fview\\_file\\_entry&\\_20\\_redirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fweb%2Fguest%2Fpublicacoes-e-indicadores%2Fbalanco-energetico-nacional%3Fp\\_p\\_id%3D20%26p\\_p\\_lifecycle%3D0%26p\\_p\\_state%3Dnormal%26p\\_p\\_mode%3Dview%26p\\_p\\_col\\_id%3Dcolumn-1%26p\\_p\\_col\\_count%3D1%26\\_20\\_struts\\_action%3D%252Fdocument\\_library%252Fview%26\\_20\\_folderId%3D3597235&\\_20\\_fileEntryId=3597309](http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/balanco-energetico-nacional?p_p_id=20&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_20_struts_action=%2Fdocument_library%2Fview_file_entry&_20_redirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fweb%2Fguest%2Fpublicacoes-e-indicadores%2Fbalanco-energetico-nacional%3Fp_p_id%3D20%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1%26_20_struts_action%3D%252Fdocument_library%252Fview%26_20_folderId%3D3597235&_20_fileEntryId=3597309)>. Acesso em: 15 out. 2018.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Balço Energético Nacional 2005**. Brasília: SEN/MME, 2005. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3597237/01+-+BEN+2005+-+Ano+Base+2004+%28PDF%29/3910a3e3-c6b4-41db-a069-954f18a43d57;jsessionid=A5EA9262F2CC48748DF4FF76BEBF1F28.srv155>>. Acesso em: 12 out. 2018.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Matriz Energética Nacional 2030**. Brasília: Epe, 2007. 254 p. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1432020/Matriz+Ener%C3%A9tica+Brasileira+2030+-+%28PDF%29/708f3bd7-f3ed-4206-a855-44f6d4db29f6?version=1.2>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

MONTOYA, Marco Antonio; LOPES, Ricardo Luis; GUILHOTO, Joaquim José Martins. Desagregação setorial do Balço Energético Nacional a partir dos dados da matriz insumo-produto: uma avaliação metodológica. **Economia Aplicada**, São Paulo, v. 18, p.379-419, 2014. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/ecoa/article/view/88428/91311>>. Acesso em: 01 out. 2018.

NASCIMENTO, Rodrigo Limp. **Energia Solar no Brasil: situação e perspectivas**. Brasília, 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Apesar de baixa fertilidade, mundo terá 9,8 bilhões de pessoas em 2050**. 2017. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/apesar-de-baixa-fertilidade-mundo-tera-98-bilhoes-de-pessoas-em-2050/>>. Acesso em: 11 out. 2018.

SANTOS, Felipe Marques. **Sistema Elétrico Brasileiro: Histórico, estrutura e análise de investimentos no setor**. 2015. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2015. Disponível em: <[https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/159354/TCC\\_Felipe\\_Marques.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/159354/TCC_Felipe_Marques.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 10 jul. 2018.

SANTOS, Fernando António Castrilho Mamede dos; SANTOS, Fernando Miguel Soares Mamede dos. Geração distribuída versus centralizada. **Revista Millenium**, Viseu, v. 35, n. 1, p.1-15, nov. 2008. Disponível em: <<http://repositorio.ipv.pt/handle/10400.19/350>>. Acesso em: 28 set. 2018.

SHAYANI, Rafael Amaral; OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves de; CAMARGO, Ivan Marques de Toledo. Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO, 5., 2006, Brasília. **Políticas públicas para a Energia: Desafios para o próximo quadriênio**. Brasília: Cbpe, 2006. p. 1 - 16. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3427159/mod\\_resource/content/1/solar.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3427159/mod_resource/content/1/solar.pdf)>. Acesso em: 05 out. 2018.

SILVA, Malumara Ferreira. **Panorama da energia solar fotovoltaica centralizada no sistema elétrico brasileiro: evolução, desafios e tendências**. 2016. 33 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil Ou Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2016. Disponível em: <[https://www.eec.ufg.br/up/140/o/AGUARDAR\\_2018\\_1-PANORAMA\\_DA\\_ENERGIA\\_SOLAR\\_FOTOVOLTAICA\\_CENTRALIZADA\\_NO\\_SISTEMA\\_EL%3%89TRICO\\_BRASILEIRO\\_EVOLU%3%87%3%83O\\_\\_DESAFIOS\\_E\\_TEND%3%8ANCIAS.pdf](https://www.eec.ufg.br/up/140/o/AGUARDAR_2018_1-PANORAMA_DA_ENERGIA_SOLAR_FOTOVOLTAICA_CENTRALIZADA_NO_SISTEMA_EL%3%89TRICO_BRASILEIRO_EVOLU%3%87%3%83O__DESAFIOS_E_TEND%3%8ANCIAS.pdf)>. Acesso em: 29 set. 2018.

SILVA, Natália da Rosa; RAMPINELLI, Giuliano Arns. **Estruturação de um cenário energético para o Brasil a partir da Agenda 2050**. In: SIMPÓSIO DE INTEGRAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO SUL CATARINENSE, 6., 2017, Criciúma: SICT-SUL, 2017.

SILVA, Rutelly. **Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios**. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, Fevereiro/2015 (Texto para Discussão nº 166). Disponível em: [www.senado.leg.br/estudos](http://www.senado.leg.br/estudos). Acesso em 3 de fevereiro de 2015.

TOLMASQUIM, Maurício. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 247-260, 1 jan. 2012.

TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos estud. - CEBRAP**, São Paulo, n. 79, p. 47-69, Nov. 2007. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-33002007000300003&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-33002007000300003&lng=en&nrm=iso)>. access on 22 Nov. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-33002007000300003>.

VENTURA FILHO, Altino. O Brasil no Contexto Energético Mundial. **Naippe**, São Paulo, v. 6, p.1-29, nov. 2009. Disponível em: <[http://naippe.fm.usp.br/arquivos/livros/Livro\\_Naippe\\_Vol6.pdf](http://naippe.fm.usp.br/arquivos/livros/Livro_Naippe_Vol6.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2018.

## ANEXO A – EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA POR FONTE DE GERAÇÃO PARA A EXPANSÃO DE REFERÊNCIA

Tabela A.1 - Geração centralizada: evolução da capacidade instalada por fonte de geração para a Expansão de Referência.

FONTE <sup>(a)</sup>	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
<b>RENOVÁVEIS</b>	<b>131.859</b>	<b>135.275</b>	<b>139.329</b>	<b>140.297</b>	<b>141.463</b>	<b>147.000</b>	<b>150.998</b>	<b>155.534</b>	<b>159.874</b>	<b>164.171</b>
HIDRO <sup>(b)</sup>	96.625	98.188	101.854	101.854	101.916	102.058	102.176	102.732	103.092	103.410
OUTRAS RENOVÁVEIS:	35.235	37.088	37.474	38.442	39.547	44.942	48.822	52.802	56.782	60.762
PCH e CGH	6.245	6.360	6.553	6.715	6.751	7.168	7.518	7.968	8.418	8.868
EÓLICA	13.624	14.951	15.069	15.171	15.351	18.672	20.672	22.672	24.672	26.672
BIOMASSA <sup>(c)</sup> + BIOGÁS	13.598	13.581	13.595	13.724	13.806	14.463	14.993	15.523	16.053	16.583
SOLAR CENTRALIZADA	1.768	2.196	2.258	2.832	3.639	4.639	5.639	6.639	7.639	8.639
<b>NÃO RENOVÁVEIS</b>	<b>22.812</b>	<b>23.453</b>	<b>25.255</b>	<b>26.559</b>	<b>26.559</b>	<b>28.506</b>	<b>30.977</b>	<b>30.012</b>	<b>31.210</b>	<b>31.980</b>
URÂNIO	1.990	1.990	1.990	1.990	1.990	1.990	1.990	1.990	3.395	3.395
GÁS NATURAL <sup>(d)</sup>	12.538	12.939	14.454	15.759	15.759	17.898	21.352	21.870	21.870	23.021
CARVÃO	3.075	3.420	3.420	3.420	3.420	3.420	3.420	3.420	3.420	3.420
ÓLEO COMBUSTÍVEL <sup>(e)</sup>	3.721	3.696	3.696	3.696	3.696	3.696	3.262	1.780	1.749	1.368
ÓLEO DIESEL <sup>(e)</sup>	1.488	1.408	1.694	1.694	1.694	1.502	952	952	776	776
UTE Ciclo Aberto + Tec.Armazenamento <sup>(f)</sup>					204	1.305	3.997	7.762	7.762	13.142
<b>TOTAL DO SIN</b>	<b>154.671</b>	<b>158.728</b>	<b>164.583</b>	<b>166.856</b>	<b>168.227</b>	<b>176.812</b>	<b>185.972</b>	<b>193.308</b>	<b>198.846</b>	<b>209.294</b>
Itaipu 50Hz <sup>(g)</sup>	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000
<b>TOTAL DISPONÍVEL</b>	<b>161.671</b>	<b>165.728</b>	<b>171.583</b>	<b>173.856</b>	<b>175.227</b>	<b>183.812</b>	<b>192.972</b>	<b>200.308</b>	<b>205.846</b>	<b>216.294</b>

Notas: (a) A evolução não considera a autoprodução de uso exclusivo que, para os estudos energéticos, é representada como abatimento de carga. A evolução da participação da autoprodução de energia é descrita no Capítulo II.  
(b) Os valores da tabela indicam a potência instalada em dezembro de cada ano, considerando a motorização das UHE.  
(c) Inclui usinas a biomassa com CVU > 0 e CVU = 0 (bagaço de cana). Para as usinas a bagaço de cana, os empreendimentos são contabilizados com a potência instalada total.  
(d) Em gás natural, é incluído também o montante de gás de processo.  
(e) Usinas termelétricas movidas a óleo diesel e óleo combustível são retiradas do Plano de Expansão de Referência nas datas de término de seus contratos.  
(f) Alternativa Indicativa de Ponta: contempla termelétricas a ciclo aberto e tecnologias de armazenamento.  
(g) Parcela da UHE Itaipu pertencente ao Paraguai, cujo excedente de energia é exportado para o mercado brasileiro.

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2017).

Tabela A.2 - Geração centralizada: expansão da capacidade instalada por fonte de geração (incremento anual).

FONTE <sup>(a)</sup>	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
<b>RENOVÁVEIS</b>	<b>3.416</b>	<b>4.053</b>	<b>968</b>	<b>1.166</b>	<b>5.537</b>	<b>3.998</b>	<b>4.536</b>	<b>4.340</b>	<b>4.297</b>
HIDRO <sup>(b)</sup>	1.563	3.667	0	62	142	118	556	360	317
OUTRAS RENOVÁVEIS:	1.853	387	968	1.104	5.395	3.880	3.980	3.980	3.980
PCH e CGH	115	193	162	37	417	350	450	450	450
EÓLICA	1.327	118	102	179	3.322	2.000	2.000	2.000	2.000
BIOMASSA <sup>(c)</sup> + BIOGÁS	-17	14	129	82	657	530	530	530	530
SOLAR CENTRALIZADA	428	62	574	807	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
<b>NÃO RENOVÁVEIS</b>	<b>641</b>	<b>1.802</b>	<b>1.305</b>	<b>0</b>	<b>1.947</b>	<b>2.471</b>	<b>-965</b>	<b>1.198</b>	<b>770</b>
URÂNIO	0	0	0	0	0	0	0	1.405	0
GÁS NATURAL <sup>(d)</sup>	401	1.516	1.305	0	2.139	3.454	518	0	1.151
CARVÃO	345	0	0	0	0	0	0	0	0
ÓLEO COMBUSTÍVEL <sup>(e)</sup>	-25	0	0	0	0	-433	-1.483	-31	-381
ÓLEO DIESEL <sup>(e)</sup>	-80	286	0	0	-192	-550	0	-176	0
UTE Ciclo Aberto + Tec.Armazenamento <sup>(f)</sup>	0	0	0	204	1.101	2.692	3.765	0	5.380
<b>TOTAL DO SIN</b>	<b>4.057</b>	<b>5.855</b>	<b>2.272</b>	<b>1.371</b>	<b>8.585</b>	<b>9.160</b>	<b>7.336</b>	<b>5.539</b>	<b>10.448</b>

Notas: (a) A evolução não considera a autoprodução de uso exclusivo que, para os estudos energéticos, é representada como abatimento de carga. A evolução da participação da autoprodução de energia é descrita no Capítulo II.

(b) Os valores da tabela indicam a potência instalada em dezembro de cada ano, considerando a motorização das UHE.

(c) Inclui usinas a biomassa com CVU > 0 e CVU = 0 (bagaço de cana). Para as usinas a bagaço de cana, os empreendimentos são contabilizados com a potência instalada total.

(d) Em gás natural, é incluído também o montante de gás de processo.

(e) Usinas termelétricas movidas a óleo diesel e óleo combustível são retiradas do Plano de Expansão de Referência nas datas de término de seus contratos, conforme reduções apresentadas nesta tabela.

(f) Alternativa Indicativa de Ponta: contempla termelétricas a ciclo aberto e tecnologias de armazenamento.

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2017).