

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS CURITIBA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**FELIPE GOMES VELLUTINI
LEANDRO BEZERRA DA SILVA
LEONARDO DE OLIVEIRA MARQUES**

**O IMPACTO DO AUMENTO DO USO DE FONTES RENOVÁVEIS
ALTERNATIVAS NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CURITIBA
2019**

**FELIPE GOMES VELLUTINI
LEANDRO BEZERRA DA SILVA
LEONARDO DE OLIVEIRA MARQUES**

**O IMPACTO DO AUMENTO DO USO DE FONTES RENOVÁVEIS
ALTERNATIVAS NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA**

Trabalho de conclusão do curso de Graduação em Engenharia Elétrica apresentado à disciplina de Trabalho de conclusão de curso 2, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletricista

Orientador (a): Prof^a Msc Annemarien
Gehrke Castagna

**CURITIBA
2019**

Felipe Gomes Vellutini
Leandro Bezerra da Silva
Leonardo de Oliveira Marques

O IMPACTO DO AUMENTO DO USO DE FONTES RENOVÁVEIS ALTERNATIVAS NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

Este trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Eletricista do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Curitiba, 19 de junho de 2019

Prof. Antonio Carlos Pinho, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemarle Gehrke Castagna, Mestre.
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica

ORIENTAÇÃO

Annemarle Gehrke Castagna, Mestre.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientadora

BANCA EXAMINADORA

Annemarle Gehrke Castagna, Mestre
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná

Alvaro Augusto W. de Almeida, Mestre
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná

Carlos Henrique Karam Salata, Especialista
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer à nossas famílias, que sempre nos apoiaram e estiverem ao nosso lado, durante todos os momentos, bons ou ruins e foram peças fundamentais em nossas formações para que pudessemos alcançar este objetivo.

A nossa orientadora, professora Mestra Annemarlen, que procurou sempre nos direcionar da melhor forma durante todo este período e sempre se mostrou presente e prestativa para nos auxiliar em nossas dificuldades.

Aos nossos amigos e colegas da Universidade, que estiveram presente durante estes anos, que nos proporcionaram momentos de felicidade e também estiveram ao nosso lado para nos apoiar nos momentos difíceis. E a todos os professores que de maneira direta ou indireta participaram de nossas formações acadêmicas e pessoais.

A todos o nosso muito obrigado.

RESUMO

MARQUES, Leonardo de Oliveira. SILVA, Leandro Bezerra da. VELLUTINI, Felipe Gomes. **O impacto do aumento do uso de fontes renováveis alternativas na matriz elétrica brasileira.** 2019. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Curso de Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019

Este trabalho apresenta como a participação das fontes renováveis alternativas na matriz elétrica brasileira está crescendo e como isso impacta na operação, manutenção e planejamento da matriz. É apresentada uma breve descrição da configuração atual, projeção futura da matriz elétrica mundial e experiência de outros países com a expansão de fontes renováveis variáveis em suas matrizes energéticas. Em seguida é apresentada configuração da matriz elétrica brasileira, seus atores e suas projeções futuras. Então é discorrido sobre as fontes renováveis alternativas, eólica, solar fotovoltaica e térmica a biomassa. De posse desses dados foi realizado um levantamento dos impactos dessas fontes na matriz elétrica nacional, onde são segmentados em cinco categorias principais: buscar aceitação pública em especial para novas linhas de transmissão, coordenação e integração no planejamento, desenvolver um mercado flexível o bastante para operar com fontes renováveis, expansão de fontes e localização geográfica das mesmas e modernizar a operação do sistema elétrico.

Palavras-chave: Fontes Renováveis, Fontes Alternativas, Fontes Variáveis, Matriz Elétrica, Impacto

ABSTRACT

MARQUES, Leonardo de Oliveira. SILVA, Leandro Bezerra da. VELLUTINI, Felipe Gomes. **The impact of increased use of alternative renewable sources in the Brazilian electricity matrix.** 2019. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Curso de Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019

This paper presents how the participation of alternative renewable sources in the Brazilian electricity matrix is increasing and how these impacts on the operation, maintenance and planning of the matrix. A brief description of the current configuration, future projection of the world electrical matrix, and experience of other countries with the expansion of variable renewable sources in their energy matrix is presented. Next, it presents the configuration of the Brazilian electrical matrix, its actors and its future projections. Then it is discussed on alternative renewable sources, wind, solar photovoltaic and thermal to biomass. With these data, a survey was carried out of the impacts of these sources in the national electric matrix, where they are segmented into five main categories: seek public acceptance in particular for new transmission lines, coordination and integration in planning, develop a market flexible enough to operate with renewable sources, expansion of sources and geographical location of them and modernize the operation of the electric system.

Key-words: Renewable Sources, Alternative Sources, Variable Sources, Electrical Matrix, Impact

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação do uso anual de energia per capita em GJ e o PIB per capita (U\$1000) para diferentes países.....	20
Figura 2 - Demanda Italiana e efeito das fontes renováveis variáveis.....	24
Figura 3 - Mapa temático da velocidade média anual para a altura de 100 metros.....	47
Figura 4 - Mapa da irradiação solar global no plano inclinado	48
Figura 5 - Localização das usinas a biomassa conectadas ao SIN.....	49
Figura 6 - Mapa da expansão das FRA e linhas de transmissão já contratados.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo da evolução da Matriz de Energia Elétrica Brasileira. (MW)	13
Tabela 2 - SIN e subsistemas: carga de energia.....	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Produção mundial de energia elétrica, por fonte, 2016.	19
Gráfico 2 - Capacidade de geração de energia por tipo no cenário de novas políticas.....	22
Gráfico 3 - Matriz de Energia Elétrica brasileira, por fonte, 2018.	26
Gráfico 4 - Curva de carga do SIN.	29
Gráfico 5 – Geração Média Horária das usinas eólicas (MWmed).	31
Gráfico 6 – Geração Média Horária das usinas solares (MWmed).	34
Gráfico 7 - Principais causas de atrasos de empreendimentos de transmissão (2014-2018)...	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BIG	Banco de Informações de Geração
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FIT	<i>Feed in Tariffs</i>
FRA	Fontes Renováveis Alternativas
FRAV	Fontes Renováveis Alternativas Variáveis
GJ	giga joules
GW	giga watts
GWp	giga watts pico
IBGE	Instituto Brasileiro Geografia e Estatística
IEA	International Energy Agency
IRENA	International Renewable Energy Agency
kV	quilovolt
MME	Ministério de Minas e Energia
MW	mega watts
NREL	National Renewable Energy Laboratory of the U.S. Department of Energy
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PEN	Plano da Operação Energética
PET	Planejamento da Expansão da Transmissão
PIE	Produtor Independente de Energia
PIB	Produto Interno Bruto
PNE	Plano Nacional de Energia
ppm	partículas por milhão
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
REN	Resolução Normativa
SEB	Setor Elétrico Brasileiro
SIN	Sistema Interligado Nacional
UHE	Usina Hidrelétrica
UNFPA	United Nations Population Fund
WEC	World Energy Council
WEO	World Energy Outlook

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 TEMA.....	12
1.1.1 Delimitação do Tema.....	14
1.2 PROBLEMA E PREMISSAS.....	14
1.3 OBJETIVOS.....	15
1.3.1 Objetivo Geral	15
1.3.2 Objetivos Específicos	15
1.4 JUSTIFICATIVA.....	15
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	16
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
2 MATRIZ ELÉTRICA NO BRASIL E NO MUNDO	18
2.1 MATRIZ ELÉTRICA NO MUNDO	18
2.1.1 Experiência de outros países no uso de fontes renováveis alternativas.....	23
2.2 MATRIZ ELÉTRICA NO BRASIL	25
2.3 SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL.....	28
3 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DAS FONTES RENOVÁVEIS ALTERNATIVAS PRESENTES NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA	30
3.1 FONTES RENOVÁVEIS ALTERNATIVAS NO BRASIL.....	30
3.1.1 Energia Eólica.....	30
3.1.2 Energia Fotovoltaica.....	33
3.1.3 Energia Através da Biomassa	35
4 LEVANTAMENTO DO IMPACTO DAS FONTES RENOVÁVEIS ALTERNATIVAS NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA.....	37
4.1 ACEITAÇÃO PÚBLICA PARA NOVAS USINAS E LINHAS DE TRANSMISSÃO	37
4.2 COORDENAÇÃO E INTEGRAÇÃO NO PLANEJAMENTO	40
4.3 DESENVOLVER UM MERCADO FLEXÍVEL O BASTANTE PARA OPERAR COM FONTES RENOVÁVEIS	44
4.4 EXPANSÃO DE FONTES E SUAS LOCALIZAÇÕES GEOGRÁFICAS	47
4.5 MODERNIZAR A OPERAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO	52
5 CONCLUSÃO.....	55
REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

As características geográficas brasileiras colocam o Brasil numa posição privilegiada quanto a capacidade de produção de energia elétrica, a partir de diferentes tipos de fontes.

Historicamente, a geração de energia no Brasil é predominantemente hidráulica e isto se deve às características hidrográficas do país, sendo o Brasil um dos países mais ricos em recursos hídricos, contando com 12% dos recursos hídricos do planeta segundo o governo brasileiro (Portal Brasil). Segundo dados da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) ANEEL (2018a), cerca de 60,26% da energia elétrica no Brasil é derivada de Usinas Hidrelétricas (UHEs).

Apesar disso, o Brasil tem um imenso potencial de geração de energia a partir de fontes renováveis alternativas (FRA). Em comparação à energia hídrica, a geração de energia proveniente de fontes renováveis alternativas soma um total de menos de 20% da capacidade total gerada. Esse baixo percentual demonstra que ainda há muito a ser explorado desses recursos provenientes da já citada característica geográfica brasileira para a produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis e alternativas (ANEEL, 2018c).

A Agência Internacional para as Energias Renováveis IRENA (2009), em seu estatuto, no artigo III, define como energias renováveis todas as formas de energia produzidas de fontes renováveis de uma maneira sustentável, sendo elas:

1. bioenergia;
2. energia geotérmica;
3. energia hidroelétrica;
4. energia dos oceanos, incluindo a energia das ondas, das marés e a energia térmica oceânica;
5. energia solar; e
6. energia eólica.

Analisando um escopo amplo a geração de energia elétrica mundial chega a ser, em média, 70% proveniente de combustíveis fósseis, contraste evidente com a abundante oferta de energia hidrelétrica existente no Brasil. Porém, não se deve tirar conclusões precipitadas quando analisado o enorme potencial energético existente, mas sim observar que a demanda crescente não será exclusivamente atendida pela produção de energia proveniente de hidrelétricas, por motivos frágeis, tal como restrições legais com relação a leis que restringem a construção de novos reservatórios com grande potencial (TDSE- N°19).

Com a crescente demanda de energia elétrica e as dificuldades impostas pela atual legislação ambiental para a implantação de grandes centrais hidrelétricas, o investimento em fontes renováveis alternativas de energia, para suprir essa demanda, torna-se imprescindível no Brasil. Segundo balanço do ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), a taxa de crescimento da carga do SIN (Sistema Interligado Nacional) pode chegar a 3,6% ao ano até 2021 (ONS, 2017).

Segundo o ONS, em relatório do PEN 2017/2021, a energia eólica no Brasil em 2016, por exemplo, representava 6,8% da capacidade instalada no SIN com 9.611 MW de potência. A previsão para 2021 é de que esse número cresça para 16.205 MW, o que representará 9,7% da capacidade instalada no SIN. Esse aumento de 2,9% à primeira vista não parece muito significativo, porém, representará um crescimento percentual de 68,6% na expansão de usinas eólicas de acordo com o plano de operação energética ONS (2017), como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Resumo da evolução da Matriz de Energia Elétrica Brasileira. (MW)

TIPO	2016		2021		Crescimento 2016-2021	
	MW	%	MW	%	MW	%
Hidráulica (1)	101.598	71,5	113.784	68,3	12.186	12,0
Nuclear	1.990	1,4	1.990	1,2	-	0,0
Gás/GNL	12.414	8,7	14.518	8,7	2.104	16,9
Carvão	3.174	2,2	3.478	2,1	304	9,6
Biomassa	7.640	5,4	8.313	5,0	673	8,8
Outros (2)	867	0,6	1.308	0,8	441	50,9
Óleo Combustível/Diesel	4.732	3,3	4.732	2,8	-	0,0
Eólica	9.611	6,8	16.205	9,7	6.594	68,6
Solar	16	0,0	2.182	1,3	2.166	-
Total	142.042	100	166.540	100	24.498	17,2

OBS: (1) A contribuição das PCHs e da Compra da UHE Itaipu está considerada na parcela "Hidráulica". (2) A parcela "Outros" se refere a outras usinas térmicas com CVU.

Fonte: ONS, 2017.

Devido ao cenário atual e a previsão do crescimento do uso das fontes alternativas e renováveis de energia, torna-se viável um estudo dos impactos causados por estas fontes de energia na matriz elétrica brasileira.

1.1.1 Delimitação do Tema

Em função da expansão do uso de fontes renováveis alternativas no Brasil, e seguindo o contexto previamente apresentado, será feita aqui uma análise sobre o impacto do aumento do uso de fontes renováveis alternativas na matriz elétrica brasileira.

Para fins de pesquisa, serão consideradas fontes renováveis alternativas de energia aquelas que, ao serem inseridas na matriz elétrica brasileira, serão fontes de energia complementares à geração hídrica, que é a principal forma de geração de energia elétrica no Brasil. Sendo estas fontes eólicas, solar fotovoltaicas e térmicas a biomassa.

1.2 PROBLEMA E PREMISAS

Na geração de energia elétrica através das fontes renováveis mais tradicionais como eólica e fotovoltaicas, o clima desempenha um importante papel ditando o potencial de geração. Por conta disso, há uma geração inconstante, diferentemente das gerações através de usinas hidrelétricas e termoeletricas. A partir do momento em que fontes renováveis se tornam responsáveis por uma alta parcela da energia gerada, existe uma necessidade de ajuste no planejamento da matriz elétrica. Na Alemanha, onde fontes alternativas renováveis já representam uma alta parcela da matriz elétrica, os operadores do sistema elétrico de potência definiram uma reserva de 7 GW através de fontes tradicionais (WEC, 2016).

Além do ponto de vista sazonal, é necessária uma análise do ponto de vista de transmissão da energia, pois os recursos vindos da energia eólica são abundantes no Brasil (potencial estimado em mais de 143000 MW) e mais da metade se concentra na Região Nordeste. A grande extensão territorial brasileira separa seu potencial pólo de geração de seu centro de carga localizado mais na Região Sudeste do país, implicando em adversidades econômicas e técnicas vindas da construção de grandes troncos de transmissão (TDSE- N°19).

No ponto de vista econômico, mesmo que a já existente potência instalada seja provavelmente o suficiente para a economia atual, há viabilidade na construção de novas fontes geradoras de energia renovável no Brasil, pois com o crescimento futuro já previsto, a necessidade de investimento na implementação de novas usinas geradoras à base de energias sustentáveis se dá por inevitável. Esta necessidade é impulsionada por um mercado sedento por soluções, diante de um futuro em que a potência instalada existente não será suficiente para atender a futura demanda.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Identificar e enumerar os desafios futuros do aumento do uso de fontes renováveis alternativas na matriz elétrica brasileira como: necessidade de fontes de backup, controle a curto prazo por fontes tradicionais frente a intempéries do clima, concentração da geração em pontos distantes das cargas mais necessitadas e excesso de geração em baixa demanda.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral faz-se necessário realizar os seguintes objetivos específicos:

- Verificar a projeção do aumento do uso de fontes renováveis alternativas na matriz elétrica brasileira;
- Analisar a necessidade de reserva de potencial em fontes tradicionais devido à dependência que as fontes renováveis alternativas têm do clima (vento e irradiação solar);
- Identificar as principais fontes renováveis alternativas e a disposição geográfica destas no SIN;
- Pesquisar possíveis formas de controle da conexão das fontes renováveis alternativas no SIN para mitigar efeitos como: excesso de geração em dias de baixa demanda, baixa geração pontual devido a micro alterações climáticas;
- Analisar a relação custo benefício quanto à implementação e investimentos necessários, levando em conta todos fatores considerados durante a pesquisa.

1.4 JUSTIFICATIVA

Baseado em tais premissas ordenadas nos tópicos citados, fica clara a importância da identificação das dificuldades, em todos os setores que compõem a rede de abastecimento em domínio nacional, para a implementação e organização tanto do aspecto econômico quanto técnico de FRA que solucionem de maneira eficiente, futuras pesquisas e implementações.

Com olhar técnico será imprescindível o balanço entre custo e benefício em áreas que englobam a projeção do uso das FRA na matriz energética nacional, crescimento este afetado por fatores adversos que vão trabalhar em conjunto para delimitar seu real e necessário investimento. A análise visa ponderar tais fatores como: sazonalidade, implementação de reservas, concentração de seu potencial, excessos de geração e relação de seu custo.

Entre os fatores motivadores está a atual falta de pesquisa com escopo mais técnico e objetivo com relação a atual e futura economia emergente do Brasil. Tal pesquisa visa implementar os já existentes dados disponíveis de modo a conectar todos os seus fatores em um cenário geral que possa ser guia de futuras pesquisas e projetos na área das fontes de energia renováveis e alternativas.

O grande motivador para a produção desse trabalho é antecipar os efeitos que o aumento de FRA irão gerar antes de surgirem para que esse aumento gradativo seja acompanhado dos investimentos necessários.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este projeto seguirá a metodologia de um estudo de caso e para tal serão seguidos os seguintes passos:

1 - Coleta de dados sobre a matriz elétrica mundial e brasileira, a contribuição de fontes renováveis alternativas nessas matrizes, a previsão de crescimento do uso de fontes renováveis alternativas no Brasil em um horizonte de duas a três décadas e as experiências de países que já fazem uso significativo dessas fontes em suas matrizes elétricas.

2 - Realizar com base nos dados coletados a identificação de quais fontes renováveis alternativas irão se destacar no Brasil, se há possibilidade de concentração ou dispersão da geração e quais pontos do SIN devem receber mais fontes de geração.

3 - Analisar e avaliar os dados obtidos a fim de se obter cenários do comportamento da matriz elétrica nacional num futuro próximo e quais medidas devem ser tomadas para a manutenção do bom funcionamento da mesma.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho segue a seguinte estrutura:

Capítulo 1 - Introdução: Neste capítulo será apresentado o tema discorrido e sua limitação, os problemas e premissas, os objetivos tanto gerais quanto específicos, a justificativa para tratar desse tema bem como a metodologia utilizada.

Capítulo 2 - Matriz Elétrica no Brasil e no Mundo: Neste capítulo será apresentado o referencial teórico acerca da matriz elétrica no Brasil e no mundo, do que são fontes renováveis alternativas no Brasil e qual a projeção para matriz elétrica nacional no futuro próximo.

Capítulo 3 - Levantamento e Análise das Fontes Renováveis Alternativas presentes na Matriz Elétrica Brasileira: Identificação de quais fontes renováveis alternativas terão destaque na matriz elétrica nacional e suas mais prováveis localizações geográficas.

Capítulo 4 - Os desafios presentes na inserção de fontes renováveis em uma matriz elétrica: Neste capítulo serão abordados os desafios da inserção de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira, levando em consideração fatores como potencial reservatório e sazonalidade, baseando-se em experiências de outros países e outros referenciais teóricos e trazer esses desafios para a realidade da matriz brasileira.

Capítulo 5 - Conclusão: Neste capítulo serão apresentadas as considerações e conclusões e sugestões de medidas para solucionar os impactos identificados.

2 MATRIZ ELÉTRICA NO BRASIL E NO MUNDO

2.1 MATRIZ ELÉTRICA NO MUNDO

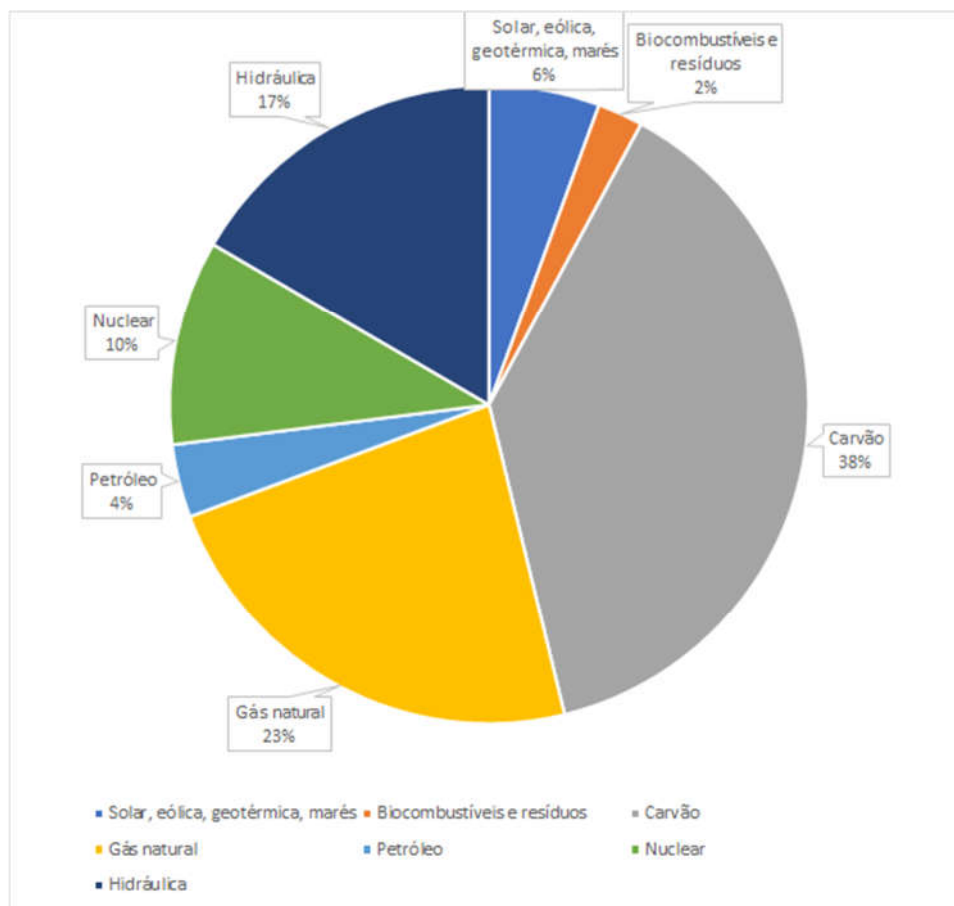
A base energética mundial que abastece todos os meios e fins consumidos pela sociedade contemporânea, ainda hoje, é composta pelos pilares do carvão, petróleo, energia nuclear, gás natural e hídrica. Em sua maioria são fontes de energia não renováveis e de reserva limitada, mesmo em ritmo lento a tendência ainda é de aumento na demanda por tais fontes e diminuição da oferta. Em contraponto, fontes alternativas se tornam um novo horizonte para a matriz elétrica mundial já representando montante significativo em relação ao montante final consumido mundialmente (BARROS, 2007).

É chamado de matriz elétrica, o conjunto de fontes de energia que estão disponíveis apenas para a geração de energia elétrica, seja em um determinado país, estado ou no mundo. As principais fontes para a geração de energia elétrica no mundo são combustíveis fósseis como o carvão, óleo e gás natural em termelétricas (EPE, 2018a).

Segundo a Agência Internacional de Energia (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA, 2018), em seu panorama estatístico de informações da energia elétrica (*Electricity information: 2018*) entre os anos de 1974 e 2016, a produção total de energia elétrica mundial aumentou de 6298 TWh para 25082 TWh, o que representa um aumento anual de 3,3%. No ano de 2016 a produção de energia elétrica mundial foi 2,9% maior que a do ano de 2015. Neste mesmo ano, a geração de energia elétrica através de combustíveis fósseis foi de 67,3% do total de energia gerada, usinas hidrelétricas contribuíram com 16,6%, usinas nucleares produziram 10,4%. A produção a partir de fontes geotérmicas, solar, eólica, energia das marés, etc, somaram 5,6% e biocombustíveis e resíduos alcançaram 2,3% da produção mundial total.

O Gráfico 1 mostra a geração de energia elétrica, por fontes, no mundo, no ano de 2016.

Gráfico 1 - Produção mundial de energia elétrica, por fonte, 2016.



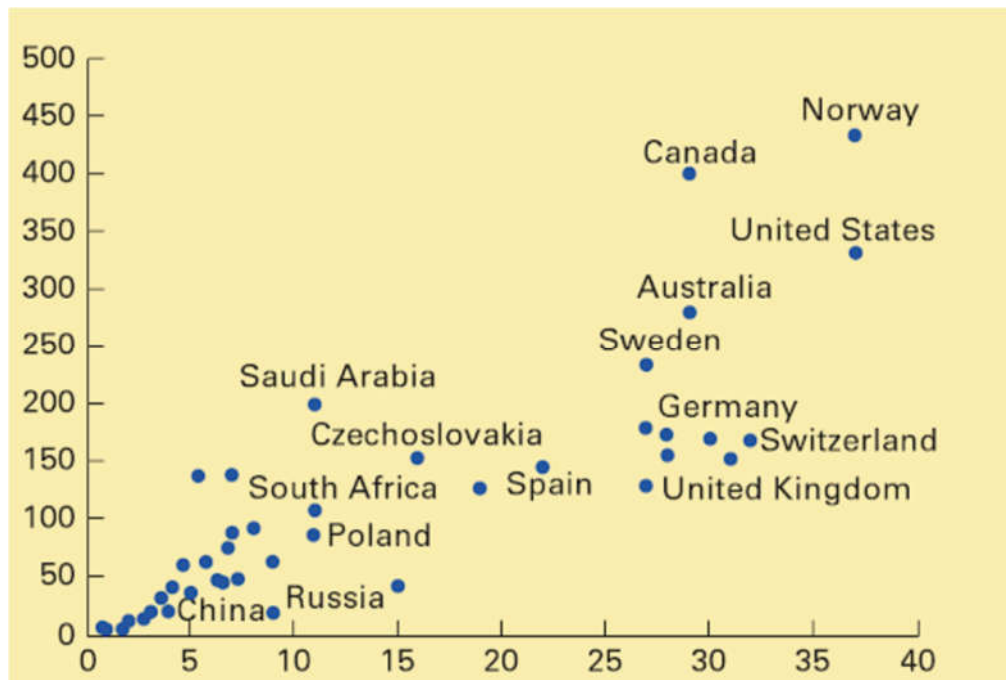
Fonte: IEA, 2018.

Segundo Ferreira et al (2017), o consumo de energia varia muito de país para país, e num aspecto geral, o consumo de energia elétrica per capita tende a ser maior em países que possuem um Produto Interno Bruto (PIB) maior, esse fator se deve ao crescimento econômico e industrialização do país. Porém fatores como os tipos de indústrias, clima e densidade populacional também influenciam diretamente no consumo de energia (NOBLE, 2015).

De acordo com Dunlap (2015), países como Canadá e a Noruega, que possuem climas frios, possuem a tendência de apresentar um maior consumo de energia elétrica devido aos grandes gastos com sistemas de aquecimento durante quase metade do ano. Países que possuem uma baixa densidade populacional, como Austrália e Rússia, tendem a ter grandes gastos nos setores de transporte público. Ainda segundo Dunlap (2015), países que possuem indústrias mais pesadas, como os Estados Unidos, necessitam de uma grande quantidade de energia para cada unidade final de produto. “Dessa forma, é possível entender porque países como a Suíça e a Espanha, que possuem PIB semelhantes ao Canadá e Noruega, apresentam um gasto menor por energia per capita. A Suíça por apresentar maior densidade populacional e a Espanha por possuir clima mais ameno.” (FERREIRA et al, 2017)

A Figura 1 mostra a relação do uso anual de energia per capita em GJ e o PIB per capita (US\$1000) para diferentes países.

Figura 1 - Relação do uso anual de energia per capita em GJ e o PIB per capita (US\$1000) para diferentes países.



Fonte: Dunlap, 2015.

Ainda em relação ao aspecto populacional, o consumo per capita de energia em países em desenvolvimento é notavelmente menor com relação a países desenvolvidos, contraste grande com sua taxa de crescimento populacional maior. Segundo dados da United Nations Population Fund UNFPA (2001), 80% da população mundial viviam em países subdesenvolvidos até então com crescimento populacional de aproximadamente 1,5% ao ano, um contraste aos 0,2% associado a países industrializados. Com relação ao consumo de energia tem-se países em desenvolvimento consumindo 39%, apenas, do montante total. Para fulminar crescimento social e econômico, países em desenvolvimento precisam aumentar investimento em fontes de energia, a escolha de qual plataforma implantar afeta diretamente no futuro da nação em questão. (GELLER, 2004)

Com o exponencial crescimento da economia mundial com relação a produção de todos os tipos de bens e serviços o consumo de energia elétrica cresce em ritmo proporcionalmente acelerado. Segundo o World Energy Outlook 2016 (IEA, 2016), o consumo de energia elétrica é dado por um quinto do consumo de energia total no planeta Terra e cerca de 1,2 bilhões de pessoas ainda não tem acesso à energia elétrica. O mapa do mercado de venda e compra de energia vem sofrendo diversas alterações nos aspectos econômicos e geográficos, a preocupação com a produção de energia suficiente para suprir a crescente demanda é existente e países com economias grandes estão visando o mercado de energias renováveis já a algum tempo (ANEEL, 2008).

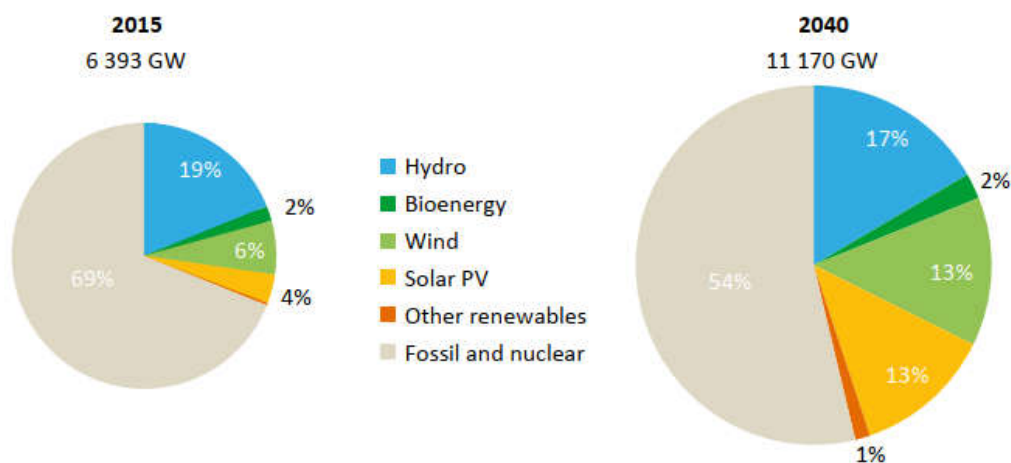
Os investimentos em novas usinas geradoras, a base de fontes renováveis, já estão ganhando seu espaço na economia mundial. O compromisso mundial de grandes potências e países emergentes em cortar emissões de gás carbônico, proporciona sinal positivo em investimentos em tal área. Potências emergentes como China e países da América do Sul tem contado com o investimento e avanço da base de energia renovável que lhes pertence. Nos últimos 12 anos fontes eólicas e solar fotovoltaicas tiveram um crescimento nas suas capacidades instaladas de 23% e 51% respectivamente, embora ainda contribuam apenas com aproximadamente 4% da geração mundial de energia elétrica. Apenas em 2015 foram investidos 286 bilhões de dólares na ampliação da capacidade de geração de fontes alternativas em 154GW, destes 76% foram em fontes eólicas e fotovoltaicas, nesse mesmo período fontes convencionais tiveram investimentos correspondentes a 97GW (IEA, 2016).

Segundo a IEA, em seu cenário de novas políticas para redução de gases geradores do efeito estufa, a projeção futura aponta que em 2040 quase 60% de todas as novas fontes de geração de energia instaladas no mundo serão de energias renováveis. Mais de 4000 GW serão entregues de 2016 até 2040, o que corresponde a mais de quatro vezes a capacidade instalada de fontes geradoras por meio da queima de carvão. Dessas adições de capacidade instalada de fontes renováveis até 2040, 37% são de fontes eólicas (lideradas por China e União Europeia), 35% solar fotovoltaicas (China, Índia e Estados Unidos) e por volta de 20% serão de fontes renováveis hídricas (China e América Latina). Em 2040 as fontes renováveis de energia alcançarão quase que metade de toda a capacidade de geração de energia no mundo, contra menos de um terço em 2015 (IEA, 2016).

Ainda neste cenário, em 2040, energias renováveis variáveis corresponderão a mais de 40% das novas adições de capacidade instalada de energia e quase três quartos de todas as novas adições de capacidade instalada serão baseadas em fontes renováveis de energia. A energia eólica irá liderar, principalmente com seu desenvolvimento *onshore* em muitos países ao redor do mundo, enquanto as instalações *offshore* corresponderão a 10% de toda nova adição de capacidade instalada, principalmente na China e União Europeia. Com relação a energia solar fotovoltaica, incluindo instalações de pequeno e grande porte, está corresponderá em 2040 a um terço de toda nova adição em capacidade instalada de energia baseada em fontes renováveis no mundo, e um quinto do total quando se tratar de todas as fontes de energia. (IEA, 2016)

De forma geral, até o ano de 2040 a capacidade instalada total, baseada em fontes renováveis de energia, terá um grande salto e passará a corresponder quase metade de toda a capacidade instalada de energia no mundo, sendo que hoje a capacidade instalada de energia elétrica no mundo, derivada de fontes renováveis de energia corresponde a 31% da total, como mostra o Gráfico 2.

Gráfico 2 - Capacidade de geração de energia por tipo no cenário de novas políticas



Fonte: IEA, 2016.

Existe também um outro cenário futuro da Agência Internacional de Energia (IEA) que envolve energias renováveis, o cenário 450, que estabelece 450 ppm (partículas por milhão) como sendo a concentração máxima de CO₂ na atmosfera, com o objetivo de limitarmos o aquecimento global em 2° Celsius. O cenário 450 tem como premissa, um mundo em que faz investimentos para que haja um crescimento eficiente e seguro em fontes de energia de baixa emissão de carbono, sendo assim, seu foco não é apenas em energias renováveis.

No cenário 450, no ano de 2040 as energias renováveis corresponderão a 31% da energia primária no mundo, liderada pela bioenergia, seguida pelas fontes hidráulica, eólica e solar fotovoltaica. Em se tratando de energia elétrica, as fontes renováveis corresponderão no ano de 2040, neste cenário, a 60% de toda a capacidade instalada de geração de energia no mundo, tendo um crescimento de três vezes e meia em relação a capacidade atual. (IEA, 2016)

Segundo o IEA, neste cenário, no ano de 2040, a capacidade instalada de energias eólica, hidráulica, e solar fotovoltaica irão todas superar 2000 GW. A capacidade anual de adição de energia eólica aumentará em mais de 100 GW por ano, e a solar fotovoltaica 90 GW por ano em 2030, sendo que a última irá superar os 110 GW por ano em 2040.

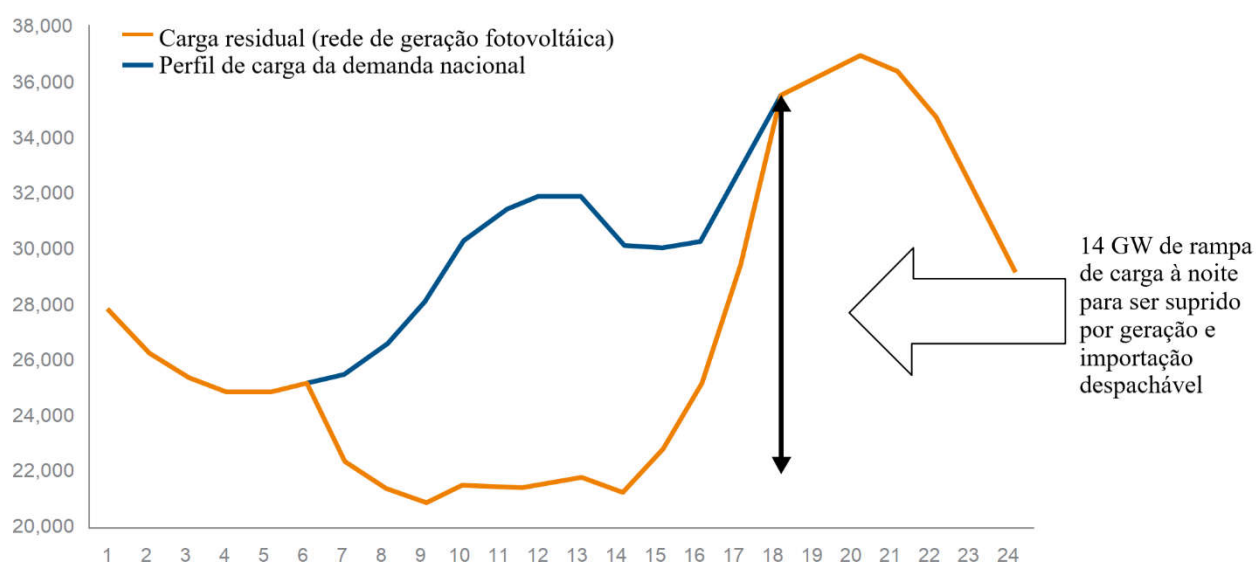
2.1.1 Experiência de outros países no uso de fontes renováveis alternativas

Estudos como os realizados pela NREL, Cochran et al (2012), analisam experiências da implantação e os efeitos do uso de FRA em matrizes elétricas. Nesse estudo em particular constatou-se que apesar de cada país usar diferentes estratégias para inserção das FRA na matriz elétrica existem cinco áreas estratégicas de operação: Buscar aceitação pública em especial para novas linhas de transmissão, coordenação e integração no planejamento, desenvolver um mercado flexível o bastante para operar com fontes renováveis, expansão de fontes e localização geográfica das mesmas e modernizar a operação do sistema elétrico.

As políticas de regulação e expansão a cerca de FRA apresenta singularidades entre diferentes países, porém em sua maioria com maiores incentivos para uso de FRA sobre fontes tradicionais. Incentivos como *Feed in Tariffs* (FIT) que consistem em pagamento de tarifas para as unidades geradoras com fontes alternativas, subsídio em investimentos e isenções tributárias são usados para promover o uso de FRA. Normalmente o custo desses incentivos é repassado ao consumidor final, como exemplo da Itália onde foi implantado incentivo para geração fotovoltaica em 2005 experimentando um rápido crescimento chegando ao patamar de 10 GWp de ampliação em 2011 para apenas 0,5 GWp de ampliação em 2015 quando os incentivos fiscais foram drasticamente reduzidos. Efeito similar foi observado na ampliação de FRA na Alemanha onde foram instalados 3,8 GWp em 2009, 7,5 GWp em 2011 e apenas 1,9 GWp em 2012 (WEC, 2016).

As fontes renováveis variáveis têm gerado impactos sobre as fontes tradicionais que vão muito além da transferência dos investimentos. Fontes tradicionais projetadas para operar na base da geração vem sendo subutilizadas sobre a prioridade das fontes renováveis e sendo acionadas nas rampas de demanda em muitos casos além dos limites de flexibilidade, como pode ser observado na Figura 2 onde é apresentado esse efeito sobre as fontes tradicionais na matriz elétrica italiana (WEC, 2016).

Figura 2 - Demanda Italiana e efeito das fontes renováveis variáveis



Fonte: WEC, 2016.

Um fator enfrentado por países como Austrália, Dinamarca, Irlanda e EUA que adotaram políticas de ampliação de fontes renováveis variáveis foi o impacto gerado pela instalação de novas linhas de transmissão em função principalmente da localização geográfica das novas plantas de geração por fontes renováveis. Vale ressaltar que diferente do Brasil onde a matriz elétrica se desenvolveu baseada em grandes fontes geradoras distante do mercado consumidor, esses países onde a base da geração estava pautada em termoelétricas e usinas nucleares possuíam suas fontes concentradas próximas ao mercado consumidor. Fatores como aceitação pública, custo de expansão ou melhoria das redes de distribuição foram pontos de destaque nos relatos das experiências desses países com fontes renováveis (COCHRAN et al, 2012).

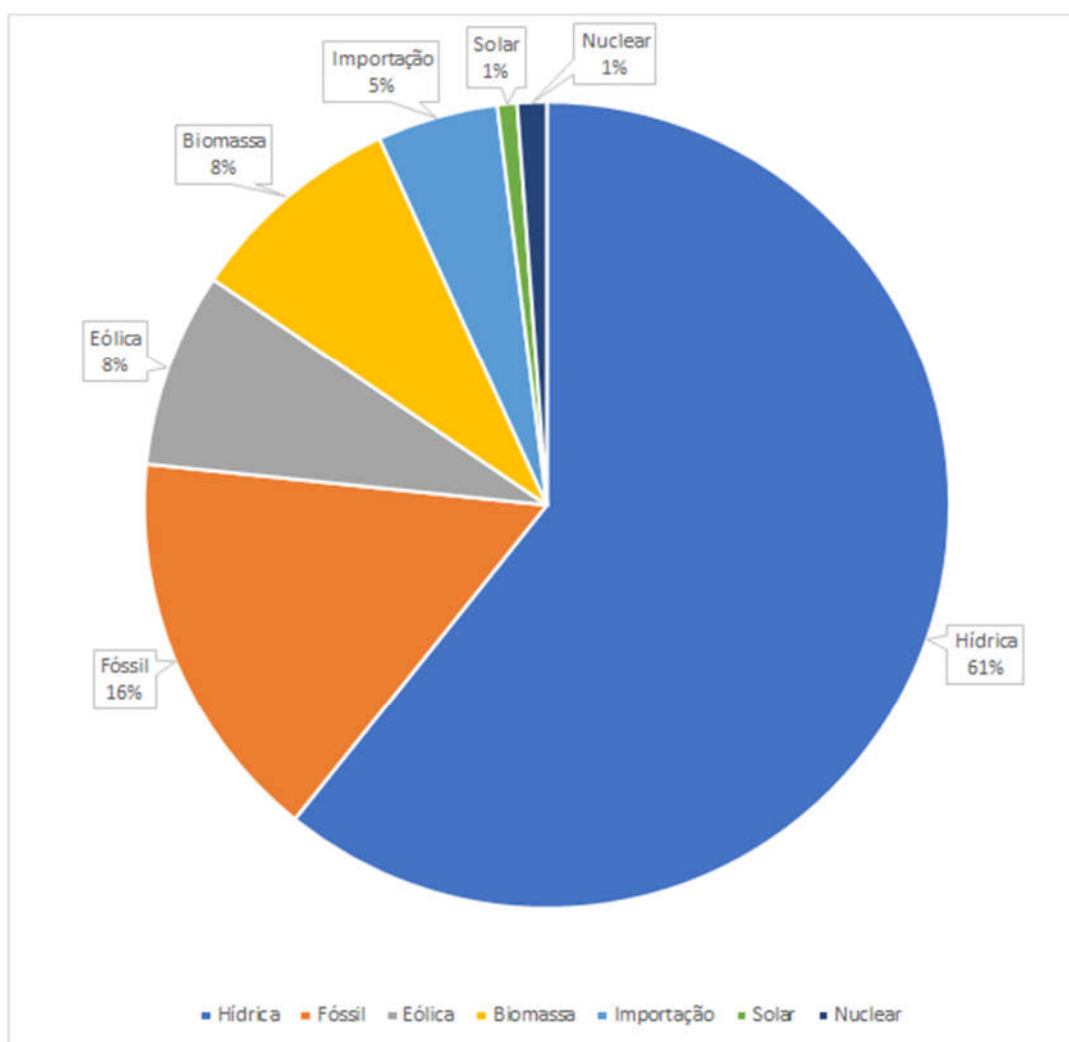
Um outro fator consequente da ampliação de fontes renováveis variáveis é o aumento do preço da energia para o consumidor final. Mesmo em cenários onde o preço da energia no atacado é puxado pela queda do preço do combustível, o preço para o consumidor final é maior em virtude de maiores custos com o sistema de transmissão e distribuição bem como para cobrir os incentivos feitos para fontes renováveis (WEC, 2016).

2.2 MATRIZ ELÉTRICA NO BRASIL

No Brasil, de todos os serviços de infraestrutura como saneamento básico, transportes, telecomunicações e energia, a energia elétrica é o segmento mais difundido. Em um país com aproximadamente 208 milhões de habitantes e 8,5 milhões de km² (IBGE, 2018) a formação de uma matriz elétrica eficiente é guiada por parâmetros como características geográficas, nível de atividade econômica, densidade populacional e capacidade de geração (ANEEL, 2008).

Em função das características geográficas com abundância de recursos hídricos a geração de energia elétrica no Brasil possui predominância de fontes hídricas com Usinas Hidrelétricas (UHEs) e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) com aproximadamente 61% da capacidade instalada da matriz elétrica. Na sequência encontram-se as termoeletricas, com combustíveis fósseis e biomassa somando aproximadamente 24,5% de capacidade instalada. As demais fontes são eólica 7,8%, importação 4,8%, nuclear 1,2% e solar 0,8%. No Gráfico 3 são mostrados esses percentuais de acordo com Banco de Informações de Geração (BIG) da ANEEL (ANEEL, 2018b).

Gráfico 3 - Matriz de Energia Elétrica brasileira, por fonte, 2018.



Fonte: ANEEL, 2018b.

É relevante a memória das faltas energéticas sofridas no sistema brasileiro em 2001, derivadas de investimentos inadequados na geração e transmissão em conjunto com pouco reabastecimento das barragens por meio de recorrentes períodos de secas. A redução de 20% do consumo por parte da população e a limitação do crescimento econômico culminaram em políticas como o programa nacional de conservação de energia elétrica (PROCEL), que mesmo com iniciativas de aumentar a eficiência energética nacional demonstraram falhas. O aumento na eficiência energética da nação, além da expansão a partir de recursos já disponíveis, é dado como grande solução para redução de novos apagões no sistema e consequentemente superávit para economia nacional (GELLER, 2004).

Uma característica essencial da matriz elétrica brasileira é sua integração com países da América do Sul, tais como Argentina, Paraguai, Uruguai e Venezuela, fator que viabiliza obras históricas como a usina de Itaipu. Tal integração surge da característica complementar de alto potencial energético de recursos existente na maioria dos países da América do Sul, favorecendo oferta e demanda contínua e recíproca. Devido as grandes proporções do território brasileiro, nível de consumo igualmente maior com relação aos seus vizinhos, e complementariedades energéticas mútuas anteriormente citadas, binacionais tem possibilidade alta de implementação economicamente viável (CASTRO, 2010).

Investimentos na ampliação do potencial energético gerado em solo nacional destinado a consumo geral tiveram grande foco na construção de novos projetos recentemente, geradoras de fonte hidráulica abundante e eólica, como a execução de Belo Monte e Teles Pires. De tal forma no período de 4 anos, ou menos, foram viabilizados montantes de 19GW potenciais em projetos hidrelétricos, grande parte voltada a Região Norte. Com relação à plataforma de geradoras eólicas, meio que sofreu constante redução de custo e implementação, o mercado fomentou-se com perspectivas de 3700MW ao ano acrescidos a capacidade geradora, número que chamou atenção de fabricantes mundiais de aerogeradores e, conseqüentemente, aqueceu ainda mais o mercado de trabalho em localidades com grande perspectiva de geração. O plano decenal da EPE prevê evolução da capacidade instalada no SIN numa ordem de 60GW até 2020, crescimento priorizado para fontes renováveis (TOLMASQUIM, 2012a).

De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 (PDE 2026, 2017), análises referentes ao consumo de energia no período de 2016-2017 apontaram um crescimento médio de carga demandada alcançando o patamar de 2700 MW, representando taxa média de crescimento de 3,5% ao ano. Com relação à demanda total de energia o crescimento chega a 5,3% ao ano com setores de indústria e transporte liderando o consumo com 67% da parcela total sendo utilizada por ambos. Estimativas ainda mostram que mesmo a indústria sendo responsável pela maior parte do consumo representa importante papel na expansão da matriz, se responsabilizando por uma autoprodução de 138TWh dos 277TWh reduzindo a pressão da demanda sobre crescimento da oferta. O consumo no setor residencial brasileiro se dá como baixo, equivale ao de um chinês, comparado com o consumo per capita em países como a França e Espanha (TOLMASQUIM, 2012a).

O consumo residencial é dependente direto do aumento de renda médio das famílias brasileiras, número de novos domicílios e políticas de eficiência energética, que de acordo com o PDE 2026, tem pretensão de 1,8% acrescidos no período entre 2016 e 2026 (EPE, 2017).

2.3 SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL

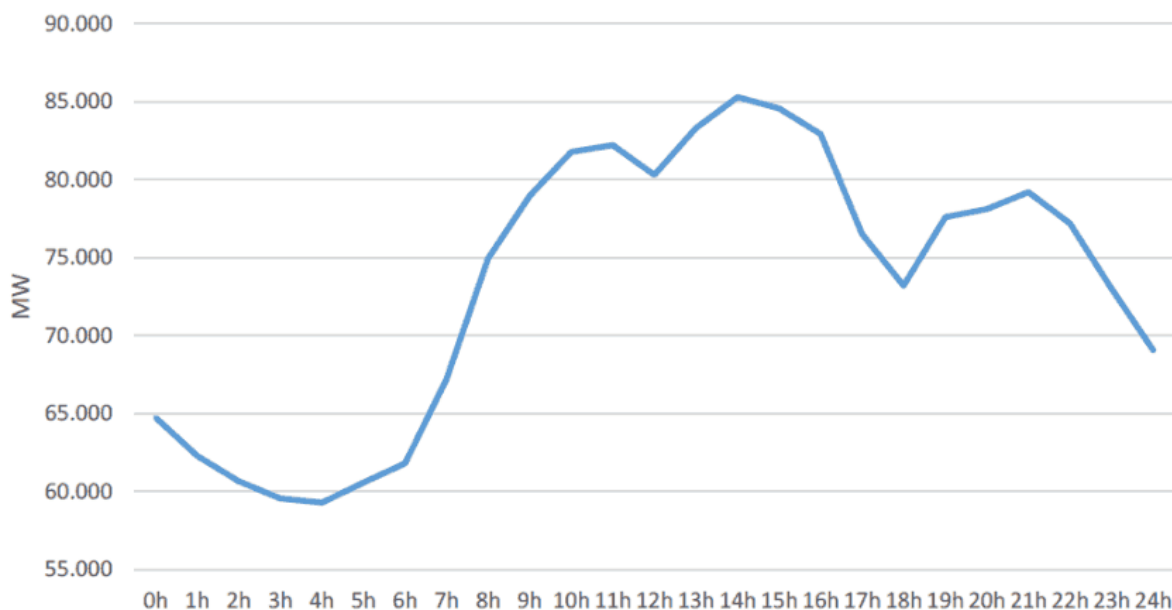
Apesar da heterogeneidade nos parâmetros da matriz elétrica nacional, no Brasil 99% da energia elétrica consumida está inserida no SIN, que possuía até 2016 uma rede de transmissão de 134.765 km de extensão operado por 64 concessionárias. A coordenação e controle do SIN ficam a cargo do ONS sob regulação e fiscalização da Aneel. Toda essa rede de transmissão é responsável por interligar os 155.526 MW de capacidade instalada no SIN, possibilitando assim a troca de energia entre regiões do país (ONS, 2017).

Toda essa interconexão e extensão do sistema de transmissão juntamente com a diversidade das fontes de geração, apresentam vantagens e desafios proporcionais à grandiosidade da matriz elétrica. Dentre as principais vantagens está o controle dos reservatórios com o envio de energia elétrica de regiões com reservatórios mais cheios para regiões com lagos mais vazios. Outra grande vantagem é a integração entre usinas hidrelétricas e termoeletricas operando em regime de complementaridade (ANEEL, 2008).

A coordenação das usinas geradoras e do sistema de transmissão fica a cargo do ONS que busca uma otimização dos recursos. Para tanto é minimizada a utilização de geração térmica, evitado o vertimento nos reservatórios de UHEs na busca por uma equalização dos custos marginais de operação do SIN. Para tal otimização faz-se necessário o uso de geração térmica em complementariedade a geração hídrica, bem como a transferência de energia entre regiões e bacias geograficamente distintas (TOLMASQUIM, 2016).

A energia elétrica é um produto com despacho contínuo e em tempo real. A energia gerada deve atender prontamente a carga do sistema e cabe ao ONS realizar o controle desse despacho. Para operar o sistema de forma segura é feita uma previsão da carga demanda a cada dia, que em dias de semana apresenta uma curva característica com a do Gráfico 4. (ONS, 2017).

Gráfico 4 - Curva de carga do SIN.



Fonte: GALTenergia, 2019.

O sistema compreende diversas faixas de operação, atendendo requisitos dos órgãos reguladores, tensões entre 230kV a 800kV compreendem a rede básica de transmissão do SIN. A rede básica se encarrega da transmissão da geração para os grandes centros de carga, estabilidade e confiabilidade geral do sistema por meio da integração entre seus elementos, otimização da geração hidrelétrica de acordo com a integração entre bacias hidrográficas heterogêneas e integração energética com sistemas de países vizinhos (EPE, 2018).

O planejamento de expansão futura do sistema apresenta valores de R\$ 108 bilhões destinados a projetos e implementação tanto de novas linhas de transmissão quanto subestações, detalhe para inclusão de instalações fronteiriças. De acordo com o PDE 2027 até maio de 2018 o SIN possuía capacidade instalada de 158000MW. O alto requerimento de novo potencial instalado, capaz de cobrir aumentos futuros previstos pela demanda, será impulsionado por leilões realizados até abril de 2018 que estimam acréscimo surpreendente de 22000MW a capacidade de oferta do sistema em geral, com perspectiva anual de crescimento de 2963MW, em média (EPE, 2018).

3 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DAS FONTES RENOVÁVEIS ALTERNATIVAS PRESENTES NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

3.1 FONTES RENOVÁVEIS ALTERNATIVAS NO BRASIL

Segundo a EPE (2018c), em 2017, as fontes renováveis de energia correspondem a 14% da matriz energética mundial, enquanto na matriz energética brasileira, as fontes renováveis de energia correspondem a 43% do total. Tal característica da Matriz Energética brasileira dá grande vantagem ao país no que diz respeito a emissão de gases de efeito estufa. Pelo fato de o Brasil ter um consumo de energia derivado de fontes renováveis superior a outros países no mundo, a emissão de gases de efeito estufa em relação ao número total de habitantes no Brasil, é menor que a maioria dos outros países, uma vez que os combustíveis fósseis são os maiores responsáveis pela emissão desses gases.

As fontes renováveis alternativas de energia elétrica, no Brasil, são aquelas complementares à geração hidráulica. Sendo assim, pode-se dizer que as principais fontes renováveis alternativas de energia, no Brasil, são as seguintes:

- Geração de energia eólica;
- Geração de energia solar;
- Geração de energia através da biomassa;

A seguir, serão tratadas individualmente cada uma dessas fontes.

3.1.1 Energia Eólica

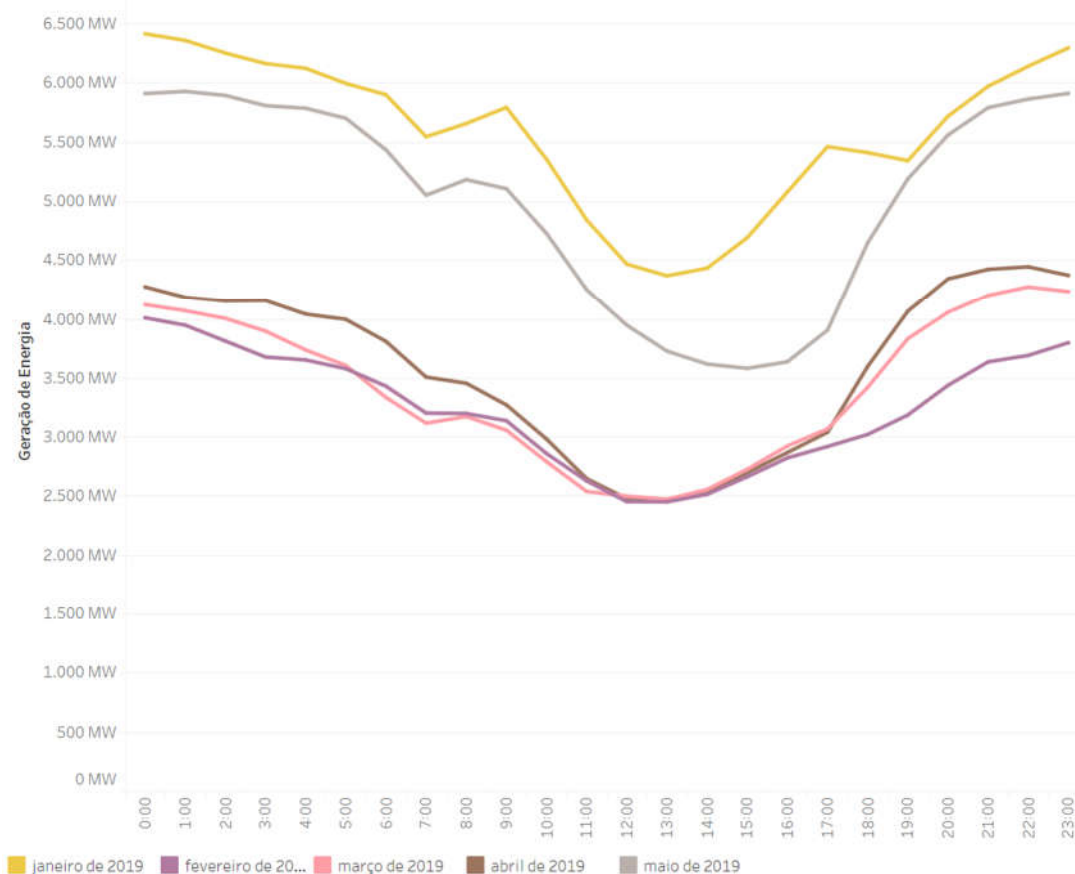
A energia eólica é, basicamente, aquela obtida da energia cinética (do movimento) gerada pela migração das massas de ar provocada pelas diferenças de temperatura existentes na superfície do planeta (ANEEL, 2008).

Para se gerar energia elétrica através da força dos ventos, são utilizadas turbinas eólicas. O vento entra em contato com as pás da turbina, fazendo-as girar, gerando assim a energia mecânica necessária para o acionamento do rotor do aerogerador, que é parte componente da turbina, gerando assim a energia elétrica.

A longevidade da extração direta do movimento dos ventos é praticamente infinita, porém, a distribuição da densidade de potencial gerador eólico, recebido ao longo do tempo por cada nação, é uma variável dependente, intrinsecamente, de fatores ligados a geografia e infraestrutura em questão. Na maioria dos casos outros meios de geração a base de fontes distintas devem ser implantados em conjunto, tendo em vista a instabilidade incidente devido a sazonalidade (TRINDADE et al, 2017).

Os efeitos da variabilidade dos ventos na geração eólica podem ser vistos em uma curva de geração por hora do dia como é mostrado no Gráfico 5 onde são apresentadas as curvas de toda geração eólica do SIN hora a hora nos meses de janeiro a maio de 2019. Observa-se uma clara oposição entre a energia despachada pelas usinas eólicas e a curva de demanda do SIN apresentada anteriormente.

Gráfico 5 – Geração Média Horária das usinas eólicas (MWmed).



Fonte: ONS, 2019a.

De acordo com a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), o uso da energia eólica teve início no Brasil no ano de 1992, quando foi instalado o primeiro aerogerador no país (ABEEólica, 2018). Uma turbina de 225 kW, sendo a primeira a entrar em operação comercial na América do Sul, localizada no arquipélago de Fernando de Noronha. Porém, somente a partir do ano de 2001, com a crise energética no Brasil, o governo brasileiro começou a criar incentivos como por exemplo o Programa Emergencial de Energia Eólica - PROEÓLICA que visava a contratação de 1.050 MW de projetos de energia eólica até o final de 2003, porém, como o programa não obteve bons resultados, este veio a ser substituído pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA).

Com os incentivos do PROINFA o Brasil teve grandes avanços na utilização de energia eólica, sendo que em 2012 o país já contava com 108 parques eólicos, totalizando 2,5 GW de capacidade instalada. Já no ano de 2017, segundo dados da ABEEólica, foram instaladas 79 novas usinas eólicas no país, num total de 2.027 MW de capacidade instalada.

Com 508 usinas no total, o ano de 2017 terminou com 12,77 GW de potência eólica instalada, o que representou um crescimento de 18,87% de potência em relação a dezembro de 2016, quando a capacidade instalada era de 10,74 GW (ABEEólica, 2017).

Ainda de acordo com a ABEEólica, ao considerar todas as fontes de geração de energia elétrica, em 2017, foram instalados 6,84 GW de potência, cujo crescimento foi liderado principalmente pelas fontes hidrelétrica e eólica, que representaram 47,86% e 29,62%, respectivamente. A energia eólica teve um acréscimo de 2,03 GW de nova capacidade instalada, o que garantiu para a fonte uma participação de 8,10% da matriz elétrica brasileira, sendo que no final de 2016 a participação era de 7,12%.

Analisando a fundo tais números e suas distribuições geográficas o padrão é dado pelo pioneirismo e condições propícias encontradas nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. Fortes e constantes ventos, observados durante o ano todo praticamente, foram primeiramente explorados pelo Produtor Independente de Energia (PIE) estimulado por legislações do setor elétrico favoráveis a implementação de unidades geradoras na região. A importância de tal região pode ser facilmente avaliada considerando que o Brasil é colocado em patamar de ponto estratégico para a entrada de novas tecnologias na América Latina (ALVES, 2009).

Com tal panorama em mente o PDE 2027 estimou grande evolução de potencial gerador eólico. A relação entre seu custo e benefício é dada como vantajosa ao mercado investidor mesmo com a inerente limitação quanto a variabilidade de produção, causando dependência de complementariedade energética. Em patamar decenal, a partir de 2023 o programa de expansão de oferta eólica será enquadrado a 2000 MW ao ano, divididos em 80% estimados para região Nordeste e o restante realocados na região Sul (EPE, 2018c).

O recurso manterá patamar de maior participante na expansão da matriz, com foco à demanda de energia mensal, visando 10000MW de capacidade adicional. O número é de considerável magnitude, levando em conta que sua participação na contribuição para abastecimento do SIN será de 12% até 2027 (EPE, 2018c).

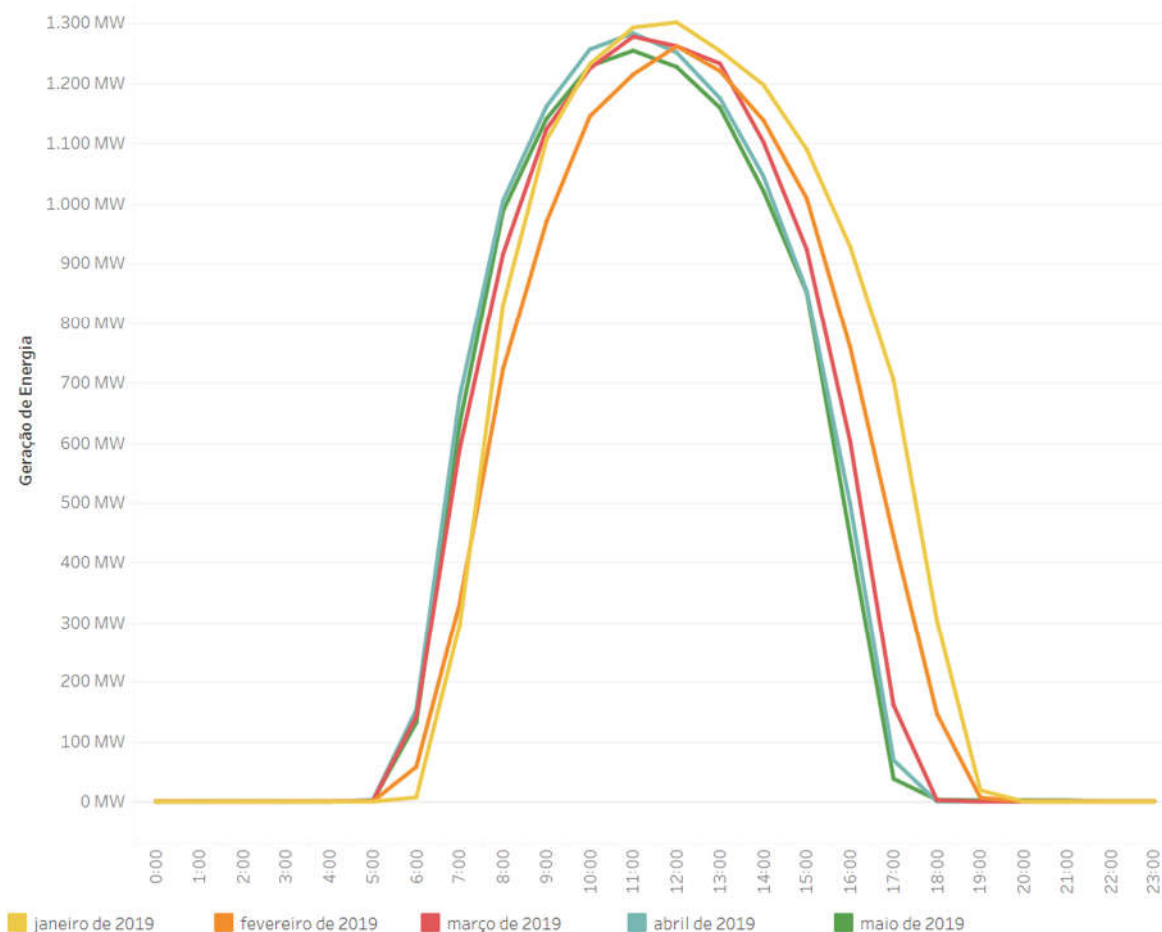
3.1.2 Energia Fotovoltaica

A energia elétrica provinda de radiação solar é de extrema dependência da sazonalidade, condições adversas de nebulosidade, umidade relativa e precipitação. Também tem seu desempenho afetado pela localização geográfica, variando incidência de acordo com a latitude e longitude meridional. Anualmente a superfície da Terra recebe radiação solar correspondente a, aproximadamente, 10 mil vezes o consumo mundial no mesmo período (WANDERLEY; CAMPOS, 2013).

Quanto a isso, o fator chave considerado é a variabilidade do fluxo de radiação solar anual, tema que ainda será abordado mais a fundo ao recorrer deste documento, que leva em consideração valores médios anuais da sazonalidade relacionados a incidência de radiação solar. Sendo que a variabilidade anual para região amazônica e partes centrais das regiões Nordeste e Centro-Oeste, apresenta valor menor que 25% ao ano, com relação ao Sul e leste da região Sudeste a taxa de variabilidade pode variar entre 30 e 35% (PEREIRA, 2006).

A geração de energia solar fotovoltaica apresentar uma curva característica bem definida como pode ser observado no Gráfico 6. Os efeitos pontuais causados por microclimas passam despercebidos uma vez que está computada toda geração solar conectada ao SIN nos subsistemas Nordeste e Sudeste. Existe uma visível complementariedade entre a geração solar e eólica quando comparados os gráficos da geração média horária das duas fontes.

Gráfico 6 – Geração Média Horária das usinas solares (MWmed).



Fonte: ONS, 2019b.

Historicamente a energia fotovoltaica é utilizada em território brasileiro em sistemas isolados pontuais ou autônomos, geralmente, em localidades sem presença de rede elétrica como propriedades rurais, centrais remotas de telecomunicação, sistemas de sinalização e esparsas comunidades isoladas. Com a aprovação do uso de sistemas de geração conectados ao SIN pela ANEEL, resolução nº 482 de 2012, tornou-se favorável instalação de grandes e pequenas geradoras capazes de produzir e distribuir tal energia (TRINDADE et al, 2017).

Apesar do cenário promissor e potencial imenso presente no país a existência de desafios para implementação ainda é forte fator que desfavorece investimentos na área. Ausência de incentivos governamentais, regulamentação e normas para o setor até o ano de 2012 prejudicou crucialmente o surgimento de novas indústrias e mercados focados na geração e distribuição em baixa tensão, sistemas com grande importância na aplicação da energia fotovoltaica, ainda deve ser considerado o custo do relativo de tais energias que ainda é alto com relação a sua projeção e margem de lucro devido ao baixo rendimento (TRINDADE et al, 2017).

Abordando o aspectos normativos de sua implementação, após a resolução nº 482, já citada anteriormente, em 2015 houve alteração desta pela resolução nº 687 que definiu parâmetros para autoprodutores de energia, possibilitando cada cidadão brasileiro ou empresa de instalar em seus telhados placas de geração fotovoltaicas voltadas à autossuficiência, ainda permitindo condições de acesso aos sistemas de compensação de créditos de energia elétrica para tal uso (TRINDADE et al, 2017).

Pela perspectiva dos valores de irradiação solar incidente no Brasil os índices são caracterizados por magnitude superior, em qualquer região, com relação a maior parte dos países da União Europeia, favorecida por projetos de aproveitamento deste recurso. Avaliações do valor máximo do índice de irradiação global indicam amplitude de 6,5kWh/m², analisando tal dado o mais interessante é verificar que esta amplitude se localiza no Brasil, mais especificamente ocorrendo próximo à fronteira do estado da Bahia com o estado do Piauí. Em contraponto, a menor irradiação solar global é recorrente também no Brasil, no litoral norte do estado de Santa Catarina, com índice de 4,255kWh/m² (PEREIRA, 2006).

Todos os cenários apontam crescimento evidente na produção de energia solar em território brasileiro de até 29% do total da energia renovável produzida. Fatores chaves necessários para desenvolvimento de tal sistema são naturalmente beneficiados pela extensa e diversa geografia nacional, porém, falta de medidas publicas favoráveis, elevados preços, sazonalidade e integração são problemas a serem enfrentados para disseminação e alto proveito desta poderosa fonte de energia (POTTMAIER et al, 2013).

3.1.3 Energia Através da Biomassa

A biomassa foi uma das primeiras fontes de energia usada pela humanidade. Na sociedade moderna o uso de biomassa como fonte térmica em termoelétricas vem ganhando destaque. No Brasil a maior parte das térmicas de biomassa estão inseridas na indústria e usam processo de cogeração, permitindo a geração combinada de energia elétrica e de energia térmica. O maior percentual de geração está presente nas indústrias do setor sucroenergético e, em menor escala, de papel e celulose, usando a lixívia como fonte (TOLMASQUIM, 2016).

Apesar da maior parte dessa térmicas fornecerem para o SIN apenas o excedente da energia elétrica gerada, em 2014 a bioeletricidade já correspondia por quase 8% da geração elétrica total no Brasil com 44,7TWh geradas. Segundo ANEEL (2018a), 36,40% das termoelétricas no Brasil operam a partir de biomassa. O crescimento acentuado desse percentual ocorreu a partir dos anos 2000 quando foi decretado o PROINFA. Conforme o decreto nº 5.025, de 2004 o PROINFA tem por objetivo disseminar o uso de fontes renováveis alternativas tais como eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas conectadas ao SIN. Juntamente com a promulgação pela lei nº10.848 de março de 2004 do novo marco do setor elétrico, que regulou o mercado de energia elétrica adotando um mercado mais competitivo promovendo a modicidade tarifária (TOLMASQUIM, 2016).

A cultura extensiva da cana-de-açúcar, em solo nacional, dá ao país considerável potencial gerador provindo da queima do bagaço. A relevância de tal material se dá, não só pela diversificação da matriz elétrica brasileira, mas também com propósito intrínseco de suporte à preservação do nível dos reservatórios de UHEs em estados em que a safra é coincidente com períodos sazonais de pouca chuva (TRINDADE et al, 2017).

É previsto uma expansão significativa de oferta de biomassa, no caso originária do bagaço de cana, a partir de 2023 entre 450MW e 500MW, no decorrer de um ano. Tais números não são irrisórios pois, de acordo com o PDE 2027, a expansão regular de usinas termelétricas, com base na queima de biomassa florestal, se limitará entre 50MW a 100MW anualmente. No período que compreende 2022 a 2027 o PDE 2027 prevê ampliação de geração de usinas a base de biomassa de cana de açúcar em 750MW (EPE, 2018c).

Subsistemas na região Sudeste/Centro-Oeste, em patamar decenal, tem balanço que indica um montante total de 2600MW de expansão, número favorecido pela flexibilidade e disponibilidade dos recursos inerentes a tais locais ao longo dos anos (EPE, 2018c).

4 LEVANTAMENTO DO IMPACTO DAS FONTES RENOVÁVEIS ALTERNATIVAS NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

Para uma melhor visualização dos impactos oriundos das FRA no Brasil, será seguida a mesma segmentação usada pela NREL já citada anteriormente. Nesse capítulo cada seguimento será abordado individualmente, sempre mostrando a realidade e expectativa futura para o Brasil, usando dados supracitados e ao mesmo tempo experiência de outros países para uma melhor pré-identificação dos impactos, ampliações planejadas e formas de evitar e combater suas maculas.

Apesar da identificação dos impactos ser realizada de forma fragmentada em áreas estratégicas para o planejamento, é relevante enfatizar que estão todas interligadas. Evidentemente as FRA não impactam cada segmento de forma isolada assim como as ações para suplantar esses efeitos devem ser planejadas e executadas visando seus efeitos em toda a cadeia da matriz elétrica.

É importante ressaltar que o estudo realizado pela NREL enfatiza a relevância do compartilhamento de informações entre países pois quando maior for o montante e a diversidade de informações usadas como referência por um país, maiores serão as chances de se aplicar uma política efetiva de desenvolvimento do setor energético (COCHRAN et al, 2012).

4.1 ACEITAÇÃO PÚBLICA PARA NOVAS USINAS E LINHAS DE TRANSMISSÃO

A aceitação pública está intimamente ligada com o quarto ponto da segmentação dos impactos estabelecida nesse trabalho, expansão de fontes e localização geográfica das mesmas, uma vez que surge a necessidade da expansão das linhas de transmissão. Outro ponto que exige aceitação pública é a instalação de novas fontes geradoras próximo a áreas de reserva ambiental e turísticas, principalmente se tratando de usinas eólicas localizadas nas faixas litorâneas.

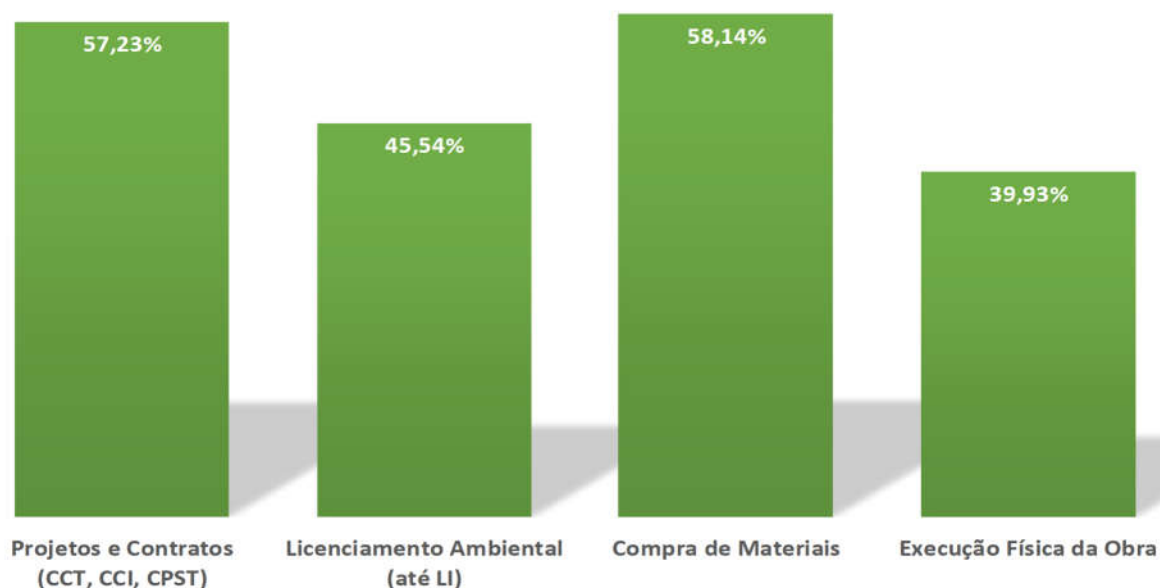
A já citada larga extensão territorial do Brasil é caracterizada por uma estrutura fundiária predominantemente latifundiária, formada desde o primórdio de sua história. Tal cenário beneficia empresas capazes de controlar, por meio de tramites políticos, o desenvolvimento da agricultura usufruindo de monopólios detentores de largas parcelas do território nacional a disposição de produção extensiva voltada a agricultura de base (FERNANDES et al, 2012).

Negociações entre os proprietários, detentores do patrimônio alocado em questão, e concessionárias correspondentes, em certos casos, podem se demonstrar onerosas tendo em vista danos ambientais, de saúde e financeiros relacionados as partes interessadas de acordo com o relatório da NREL, sendo assim, trâmites políticos devem ser preparados já predizendo potencial conflito (COCHRAN et al, 2012). Assim, é esperada uma maior adversidade para implementação de novas linhas de transmissão, com consequência no custo e tempo de execução de novos empreendimentos.

Segundo Cardoso Jr (2014), para os empreendimentos de transmissão de energia elétrica a ANEEL requer apenas o relatório R3 (Caracterização e Análise Socioambiental) para iniciar o processo licitatório, cabendo então ao vencedor da concessão realizar todo o processo de Licenciamento Ambiental que por sua vez inclui, Estudo de Impacto Ambiental, Audiência Pública, entre outros. Apenas após a conclusão desses estudos é possível requerer junto ao órgão ambiental licenciador a certeza da viabilidade ambiental do empreendimento, obtendo assim uma Licença Prévia.

De acordo com o relatório trimestral de Acompanhamento Diferenciado dos Empreendimentos de Transmissão (ANEEL, 2019a) de um total de 403 empreendimentos monitorados no setor de transmissão de energia elétrica, 141 possuem previsão de atraso totalizando 34,99% dos empreendimentos em andamento. Ainda segundo esse relatório, dentre os empreendimentos concluídos nos últimos cinco anos, 45,54% das causas de atraso foram motivados por Licenciamento Ambiental até a obtenção da Licença de Instalação, Gráfico 7.

Gráfico 7 - Principais causas de atrasos de empreendimentos de transmissão (2014-2018)



Fonte: ANEEL, 2019a.

O tempo médio gasto com Licenciamento Ambiental para conclusão de uma linha de transmissão vem caindo, de 37,75% em 2014 para 23,97% em 2018 (ANEEL, 2019a). Mesmo assim ainda representa um entrave com um alto grau de incerteza para expansão das linhas de transmissão. Sendo esta expansão fundamental para um bom funcionamento do SIN que vem recebendo cada vez mais conexões de fontes alternativas variáveis, complexas e de localizações distintas como já citado anteriormente.

A aceitação pública de fontes renováveis por parte de comunidades locais é um fator relevante para que a expansão dessas fontes seja harmoniosa. Os comportamentos de aceitação e utilização das fontes renováveis de energia estão relacionados com os valores humanos e a relação dos indivíduos com a natureza. Segundo os estudos realizados por Pessoa (2011), mesmo que as pessoas possuam conhecimento a respeito de fontes renováveis de energia, tal conhecimento não resulta em interesse a favor do meio ambiente que assim corrobore com o uso destas fontes.

Porto et al (2013), relacionam os conflitos ambientais à produção de energia limpa no Brasil, apesar das FRA impactarem menos no meio biofísico quando comparado a fontes tradicionais, essas ainda podem ocasionar conflitos e injustiças ambientais devido à vasta área de terra de que fazem uso. Esses conflitos afetam diretamente as populações tradicionais instaladas nos locais de instalação dos parques energéticos, pescadores artesanais, comunidades quilombolas e indígenas.

A busca por um maior envolvimento da população local em novos projetos, tem se mostrado uma abordagem eficaz. Segundo van Els et al (2012), os projetos de eletrificação rural na Amazônia que fizeram uso dessa abordagem obtiveram maior taxa de sucesso quanto a aspectos técnicos, socioeconômicos e culturais. Em empreendimentos eólicos no nordeste do país, Ceará e Rio Grande do Norte, o uso de metodologias participativas contribuiu para minimizar problemas e demandas das comunidades locais que se mostraram interessadas em colaborar com a gestão de conflitos. Na contramão do que foi relatado anteriormente, no estado do Ceará foi identificada uma crescente oposição pública à indústria de energia eólica. Essa oposição foi fruto de impactos negativos tais como: bloqueio do acesso às zonas de pesca, danos a casas e infraestrutura local, intimidação de apoiantes de parques eólicos e benefícios locais baixos ou temporários. Foi então identificado uma má distribuição dos impactos gerados pelos parques eólicos sendo os benéficos distribuídos regionalmente e os maléficos localmente (SENA, 2016).

Percebe-se que existe uma diferença entre a aceitação pública para empreendimentos de geração e transmissão, tanto por parte dos órgãos governamentais quanto pela população. Usinas solares fotovoltaicas e principalmente usinas eólicas enfrentam maiores desafios por impactarem o cotidiano de comunidades locais e áreas de preservação, enquanto linhas de transmissão precisam buscar concessões de produtores agropecuários bem como ambientais. Por outro lado, usinas térmicas a biomassa na grande maioria não enfrenta esses desafios por conta da localização próxima aos centros de carga e estarem instaladas dentro de áreas já exploradas.

É importante frisar que a não aceitação pública de novos empreendimentos próximos a áreas de preservação, turísticas e de populações tradicionais geram atrasos na instalação dificultando o planejamento no médio prazo corroborando assim com o aumento da incerteza inerente à expansão da matriz elétrica, tanto no âmbito da geração quanto da transmissão.

4.2 COORDENAÇÃO E INTEGRAÇÃO NO PLANEJAMENTO

Planejamento eficiente principalmente no longo prazo é fundamental para a manutenção de uma matriz elétrica estável e eficaz. Os desafios para se realizar um planejamento o mais próximo possível do ideal cresce a medida que o percentual de geração intermitente se conecta à matriz elétrica. Uma boa coordenação e integração entre os agentes do planejamento facilita por antecipar os impactos gerados por essas fontes, exigindo assim integração no planejamento de três setores primordiais na matriz elétrica: geração, transmissão e flexibilidade do sistema.

Desde 2013 fenômenos de caráter randômico protelaram o ganho geral no aproveitamento da matriz elétrica nacional, além de acarretar em aumento na disputa econômica no âmbito da geração eólica no país, e conseqüentemente provocaram balanços distintos dos previstos em publicações oficiais anteriores. Tais eventos suplantaram a necessidade de discussões políticas necessárias visando preservação ambiental concomitante à geração de energia, essencial para o desenvolvimento socioeconômico da nação (EPE, 2018a).

A eleição de uma solução específica para guiar a geração de energia no país é dispendiosa por se tratar de uma decisão capaz de impactar esferas socioambientais, econômicas e confiabilidade no acolhimento à demanda. Conjuntamente qualquer distúrbio na matriz elétrica acarreta em impactos, nas esferas anteriormente citadas, consequentemente gerando maiores perdas econômicas, seja por aplacar ou compensar danos. Todo este cenário ainda é rodeado pela incerteza inerente acerca da variabilidade das reservas energéticas das FRA, adicionando mais um grau a complexidade existente na predição de um aproveitamento energético objetivo (EPE, 2018a).

O planejamento da expansão e operação do futuro sistema elétrico nacional enfrenta barreiras no que tange seu caráter produtivo, como exemplo a variabilidade dos ventos e radiação solar capazes de afetar minuciosamente a viabilidade de sistemas a base de FRA. É indicado, nestes casos, maiores investimentos em tecnologias habilitadas a amansar a incerteza da oferta com relação ao escopo econômico da questão. Soluções na área de regulamentação tem o dever de inovar a fim de garantir embolso vindos das tecnologias citadas (EPE, 2018b).

Visando manutenção da operação de caráter nominal do sistema o relatório PNE 2050 (EPE, 2018d) também indica o enfoque baseado em fontes de aspecto hídrico e a base de gás natural, em modo de operação de ciclo simples, como a forma mais rápida de resposta as alterações momentâneas recorrentes na demanda e oferta do sistema proposto. Considerando os relatórios técnicos da EPE a respeito de transmissão (EPE, 2018a) e também sobre flexibilidade e capacidade (EPE, 2018b) é observada uma alteração nos modelos de planejamento até então utilizados. Exigindo maior integração no planejamento da complementariedade entre diferentes fontes de geração e dispositivos de manobra.

A indústria da eletricidade foi desenhada ao longo de sua história como uma indústria de rede tradicional: grandes custos de implantação, baixo custo de operação e manutenção, grandes ganhos de escala e uma estrita complementariedade entre os diversos segmentos da cadeia produtiva (PRATES et al. 2006). As indústrias de rede são categorizadas por formarem monopólios naturais em função do ganho de escala atrelado ao fato de que o consumidor do serviço ter propensão a não trocar de ofertante (FARACO, 2007). À medida que a indústria da eletricidade se expande em dimensão e complexidade, com a inserção de novas tecnologias, passa a romper com os paradigmas da indústria de rede tradicional ao inserir um número cada vez maior de pequenos atores contribuindo significativamente com a rede, exigindo, assim, a formulação de um novo panorama de planejamento, integração e regulação do mercado em questão.

No Brasil, a busca por um planejamento eficiente e indicativo do setor elétrico ficou sob a tutela do Ministério de Minas e Energia - MME, com o apoio da ANEEL que tem as funções de regular e fiscalizar os serviços de energia elétrica, e da EPE cuja finalidade é a prestação de serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético. Com o Decreto N° 5.163 de 30 de julho de 2004 que “Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências” e a criação da EPE em agosto do mesmo ano o Brasil iniciou um processo de modernização e aparelhagem para um desenvolvimento sustentável da infraestrutura energética do país.

Segundo o estudo sobre planejamento a longo prazo para expansão de fontes renováveis variáveis em países emergentes realizados pela IRENA, um planejamento a longo prazo que vise uma transição segura para uma alta permeabilidade de fontes renováveis variáveis, é necessário para que uma clara conexão seja estabelecida entre estudos que tratem de diferentes horizontes de tempo. São identificados quatro pontos-chaves a serem analisados para um desenvolvimento sustentável de uma matriz elétrica com alta penetração de fontes renováveis variáveis e quais as suas implicações: planejamento para garantia física, planejamento da flexibilidade, planejamento da capacidade de transmissão e planejamento da estabilidade do sistema (IRENA, 2017).

De acordo com a Resolução Normativa N°514 (ANEEL, 2012), garantia física corresponde à máxima quantidade de energia referente à usina que poderá ser utilizada para comprovação de atendimento de carga ou comercialização por meio de contratos. Em função da sua variabilidade fontes renováveis variáveis não contribuem necessariamente com toda a sua garantia física, logo a capacidade garantia física exigida acima da demanda de ponta para estas fontes é em geral 10 a 25% (IRENA, 2017). Essa alta variabilidade aumenta o percentual de capacidade complementar que o SIN exige para manter a segurança do sistema o que gera uma subutilização de fontes tradicionais. Em função disto a ANEEL vem realizando leilões de energia do tipo Energia de Reserva, destinados a aumentar a segurança no fornecimento de energia elétrica ao SIN (MME, 2019). Além de exigir que estudos de planejamento façam análise do balanço demanda oferta para intervalos menores de tempo do que os praticados, análise horárias ou sub-horárias.

Um aumento expressivo de fontes que apresentam garantia física baixa, menor que 50% da capacidade instalada, reforçam a necessidade de um planejamento eficiente quanto à instalação de novas usinas de geração, ao passo que exige um percentual cada vez maior de capacidade instalada superior à garantia física a fim de que a demanda seja atendida. A expansão dessa capacidade de *backup* origina um efeito cascata de impactos em demais setores da matriz elétrica, como subutilização e menor atratividade econômica de fontes tradicionais subutilizadas, como será apresentado adiante.

O planejamento no âmbito da flexibilidade deve ser estabelecido considerando comportamento de carga e geração associados, assim é possível identificar se as FRA atuam de forma negativa na estabilidade do sistema, reduzindo sua flexibilidade ao exigir um maior esforço de fontes controladas, ou de forma positiva, quando rampas de carga coincidem com rampas de geração destas fontes (EPE, 2018). Os efeitos das flutuações de potência das FRA podem ser mitigados uma vez que haja a associação de diferentes fontes e em diferentes localidades. Segundo o relatório, grandes áreas integradas ajudam na integração das fontes variáveis ao sistema e reduzem erros de previsão da geração, além de destacar a importância da previsão do tempo como ferramenta de planejamento a médio e curto prazo (NERC, 2011).

Dos pontos mais importantes para manutenção da flexibilidade do sistema, o Brasil se encontra em uma posição favorável quanto a conexão de mercados, diversificação da geração e capacidade de manobra. Mas à medida que o uso de FRA expande, faz-se necessário melhorias nos sistemas de previsão do tempo e de incentivos para outras plantas aumentarem sua flexibilidade com mudanças nos sistemas de controle e arranjos operacionais para permitir que os geradores otimizem seus comportamentos a fim de corresponder às novas inevitabilidades do sistema elétrico.

Outro ponto importante anexado as premissas de integração entre os fornecedores e consumidores, em todas as escalas, é a expansão eminente do SIN. A geração afastada dos largos centros consumidores de energia requisita expansão de linhas, de acordo com o PDE 2026 o crescimento de aproximadamente 50% de expansão das redes nacionais, até 2026, deve movimentar cerca de R\$ 12 bilhões a cada ano no horizonte decenal (EPE, 2017). Cabe ressaltar que atrelado à expansão das linhas de transmissão há um aumento das perdas internas de redes e instalações de transmissão, ampliando assim a diferença entre a carga global de energia elétrica no SIN e o consumo de energia elétrica. Com a expansão, são necessários também estudos capazes de realizarem a modernização do sistema já existente, assunto relevante que terá seu breve foco posteriormente.

Novas linhas demandam novos planejamentos capazes de manter operação nominal do sistema interligado em sua escala nacional, a responsabilidade por tal planificação recai as operadoras do sistema. Um papel primordial dos operadores do sistema é manter ambos frequência e tensão dentro de limites aceitáveis. A capacidade de retornar a um estado de operação normal após um evento de contingência é referido como estabilidade. Apesar de a alta penetração de fontes renováveis não necessariamente influenciar na ocorrência de contingência, reduz a capacidade do sistema de responder a desequilíbrios acionados por contingência em potência ativa, indicada pela frequência, e potência reativa, indicada pela tensão. Após uma contingência o quanto a frequência cai é influenciado diretamente pela inércia do sistema, que é a capacidade do sistema de opor-se às variações de frequência devida à energia cinética das massas girantes dos geradores síncronos. A expansão das FRA representa um maior desafio para o operador do sistema controlar a estabilidade do sistema. Possíveis alternativas são, uso de compensadores síncronos e estáticos para controle da potência reativa, sob penalidade de altos custos de investimento (IRENA, 2017).

4.3 DESENVOLVER UM MERCADO FLEXÍVEL O BASTANTE PARA OPERAR COM FONTES RENOVÁVEIS

Dentre as três fontes de energia analisadas nesse trabalho, duas delas, eólica e solar fotovoltaica, possuem como características marcantes a dispersão geográfica e alta variação da taxa de geração. Neste tópico é apresentado como a inserção de fontes variáveis e a dispersão da geração demandam por uma modernização do mercado de energia e como Brasil vem se preparando para tornar o mercado de energia elétrica flexível o bastante para este novo cenário que emerge.

Um mercado de energia bem estruturado é um facilitador para que se alcance um sistema elétrico flexível o bastante para acomodar fontes renováveis variáveis (COCHRAN,2012). O Brasil deixou de ser um mercado fechado e majoritariamente estatal e caminha para um mercado robusto o bastante para se adaptar à nova realidade do mercado de energia elétrica. As principais mudanças ocorreram através de resoluções normativas emitidas pela ANEEL, sendo as mais significativas:

- REN - Resolução Normativa nº 077 de 18/08/2004 publicado em 19/08/2004 - Estabelece os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, para empreendimentos hidrelétricos de geração, caracterizados como Pequena Central Hidrelétrica, e aqueles com fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, com potência instalada menor ou igual a 30.000 kW.
- REN - Resolução Normativa nº 166 de 10/10/2005 publicado em 11/10/2005 - Estabelece as disposições consolidadas relativas ao cálculo da tarifa de uso dos sistemas de distribuição - TUSD e da tarifa de energia elétrica - TE, bem como altera e revoga as Resoluções Normativas ANEEL especificadas.
- REN - Resolução Normativa nº 247 de 21/12/2006 publicado em 26/12/2006 - Estabelece as condições para a comercialização de energia elétrica, oriunda de empreendimentos de geração que utilizem fontes primárias incentivadas, com unidade ou conjunto de unidades consumidoras cuja carga seja maior ou igual a 500 kW, no âmbito do Sistema Interligado Nacional - SIN.
- REN - Resolução Normativa nº 376 de 25/08/2009 publicado em 10/09/2009 - Estabelece as condições para contratação de energia elétrica, no âmbito do Sistema Interligado Nacional – SIN, por Consumidor Livre, e dá outras providências.
- REN - Resolução Normativa nº 414 de 09/09/2010 publicado em 15/09/2010 - Estabelece as disposições atualizadas e consolidadas, relativas as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica, a serem observadas na prestação e utilização do serviço público de energia elétrica, tanto pelas concessionárias e permissionárias quanto pelos consumidores.

No Brasil a política adotada é a de leilão para todo os tipos de novos empreendimentos de geração e transmissão dentro do Ambiente de Contratação Regulada (ACR), sendo realizado o primeiro leilão de FRA em 2009. A utilização de leilões tem se mostrado benéfica frente a outras alternativas como *Feed-In-Tariff* ao passo que houve uma drástica redução no custo de kWh (WEC, 2016). As resoluções supracitadas abriram caminho para inclusão de mais agentes, de pequeno, médio e grande porte, no mercado de geração e transmissão, para a expansão e diversificação das fontes de geração, fossem elas renováveis ou não e forneceram a base para o mercado livre de energia elétrica.

Essa evolução na regulamentação do mercado de energia é necessária para assegurar a expansão das FRA na matriz elétrica brasileira, mas não suficiente para garantir uma operação segura e viável do sistema. De acordo com (COCHRAN, 2012), o mercado pode oferecer as soluções mais econômicas para garantir a flexibilidade necessária ao sistema. Das soluções apresentadas no relatório do NREL estão: incentivo a intervalos sub-horários, de 5 ou 15 minutos, para negociação e despacho de energia; uso de reserva de geração para amenizar a queda no preço de compensação do mercado e aumentar a confiabilidade do sistema; estabelecer regras de contingenciamento de fontes variáveis em períodos de excesso de geração.

Contraopondo as soluções apresentadas por experiências da implantação e os efeitos do uso de FRA em matrizes elétricas no relatório da NREL com o atual cenário do mercado brasileiro é notório que o ponto menos adaptado para inevitabilidades do novo mercado de energia se encontra na falta de um mercado de curto prazo bem estruturado, o que é justificável uma vez que a base da matriz elétrica brasileira é formada por geração baseada hídrica em custos fixos o que altera profundamente a dinâmica de formação de preços de mercado quando comparado a matriz tipicamente térmicas. Segundo CASTRO et al. (2014), como o Brasil possui predominância da geração hídrica, o preço de curto prazo da energia elétrica ao ser definido com base no custo marginal de operação calculado por modelos computacionais tende a ser demasiadamente baixo em momentos de hidrologia favorável e demasiadamente alto em momentos de hidrologia desfavorável. Por conta disso o Setor Elétrico Brasileiro (SEB) não pode operar com os atributos básicos de um mercado competitivo, que é a predisposição de auto regulação via ações induzidas aos atores em virtude dos preços do mercado.

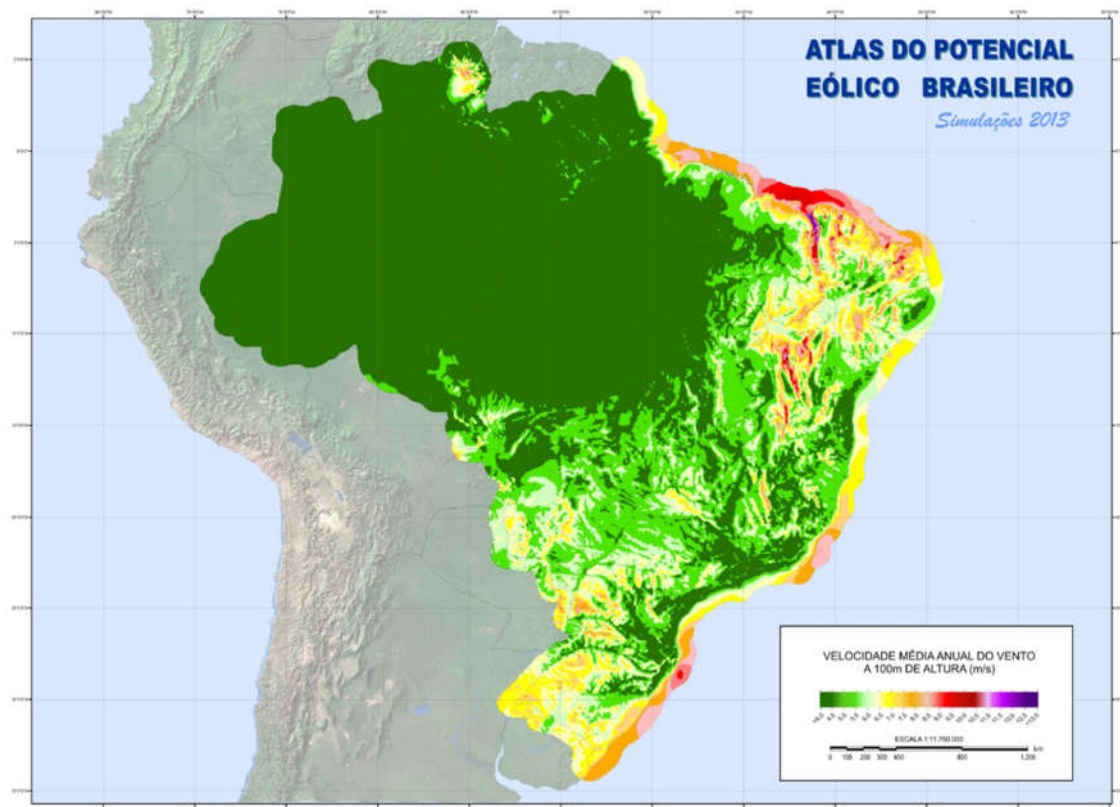
A escolha por um mercado via leilão no Ambiente de Contração Regulada onde os custos podem ser verificados ou estimados se mostrou eficiente. Porém esse método não se mostrou viável para o mercado livre. Como solução para este mercado mais flexível é utilizado o PLD médio do modelo da EPE como uma aproximação ao custo médio de produção. Assim segundo CASTRO et al. (2014), os contratos no mercado livre, principalmente os mais curtos, tendem a ter o PLD esperado como preço de referência, como este possui característica instável com uma forte tendência de manter valores baixos por longos períodos de tempo, novos projetos de geração para uso exclusivo no mercado livre tornam-se inviáveis. Portanto há um desafio para incentivar a expansão do mercado livre de energia elétrica no Brasil.

4.4 EXPANSÃO DE FONTES E SUAS LOCALIZAÇÕES GEOGRÁFICAS

Se o objetivo principal da análise é constatar uma previsão aproximada dos meios e fins apropriados para se obter um horizonte sustentável, o enquadramento de localizações propícias para implementação inicial, ou complementar, de FRA é necessário. A revisão deve ser feita de modo a mapear pontos das distintas, e abundantes, localidades detentoras de variados potenciais energéticos a fim de assemelhar, de forma aproximada e justa, um guia de regiões em que mais de uma fonte possa ser empregada obtendo impacto positivo harmonioso ao sistema existente e suas futuras e necessárias atualizações.

A viabilização do uso de aerogeradores para geração de energia elétrica é intimamente conectada com os ventos regionais, tais como brisas oceânicas, brisas continentais e monções, que são ventos característicos de cada região com suas especificidades quanto a velocidade e regularidade. Sendo as regiões costeiras e regiões montanhosas as com maior disponibilidade de ventos (CAILLÉ et al, 2007). O mapeamento eólico presente no Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, demonstra grande potencial de geração, principalmente no litoral do nordeste, interior da Bahia e Minas Gerais e litoral do Rio Grande do Sul, como pode ser visto na Figura 3, com um potencial estimado de 222 TWh/ano (CAMARGO-SCHUBERT,2013; EPE 2018a).

Figura 3 - Mapa temático da velocidade média anual para a altura de 100 metros



Fonte: CEPEL, 2017.

Com o grande potencial existente sobre uma ampla extensão territorial, adversidades que tangem: problemas técnicos, penetração da fonte no sistema, planejamento adequado de infraestrutura, comunicação, restrições ambientais, além de outros empecilhos são apenas alguns dos exemplos que acometem a implementação de energia eólica em solo brasileiro. Tais problemáticas carregam inerente peso negativo como obstáculos ao rendimento energético do uso de recursos eólicos, apesar de tudo, grandes desafios fomentam recompensas de igual escala usufruídas na ótica do impulso econômico nacional decorrente do processo (EPE, 2018a).

As regiões de maior irradiação solar no Brasil são apontadas no mapa da Figura 4. Examinando o fator em questão, de forma individual, nota-se facilmente o oeste da Bahia como de características favoráveis a implementação de fontes solar. É válida também a citação do Vale do São Francisco, Piauí, Mato Grosso do Sul, leste de Goiás e oeste do Estado de São Paulo como pólos a serem considerados em destaque para exploração de energia solar (EPE, 2018a).

Figura 4 - Mapa da irradiação solar global no plano inclinado

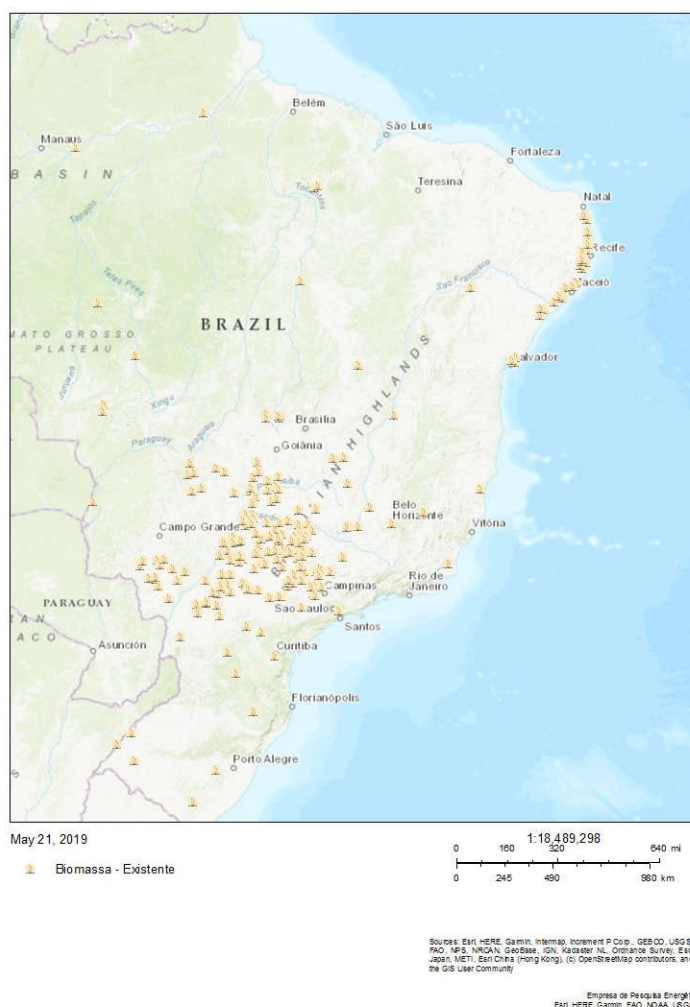


Fonte: EPE (2016) adaptado do INPE, LABSOLAR.

É inevitável que plantas fotovoltaicas e heliotérmicas sejam implementadas primariamente em regiões que possuem maior fator de capacidade, porém, analisando todo o espectro da amplitude da irradiação global horizontal anual do Brasil, que varia entre 1.500 a 2.200 kWh/m², é possível observar que aproximadamente todo o território nacional possui bom desempenho se empregado para captação de energia solar. Com esta visão em mente a geração de energia solar em conjunto com outras FRA de forma distribuída, seja por implementação de métodos de microrredes ou *smart grids*, tornam-se desejáveis quanto a solução de adversidades variadas ao redor do tema (EPE, 2018a).

Diferentemente das duas fontes renováveis anteriormente citadas, as usinas a biomassa estão majoritariamente localizadas próximas aos maiores centros de carga, Figura 5, sendo essa característica um forte diferencial competitivo para essa tecnologia, junto com a maior flexibilidade e capacidade de estocagem do combustível primário (EPE, 2018d).

Figura 5 - Localização das usinas a biomassa conectadas ao SIN



Fonte: Autores, adaptado do WEBMAP interativo do sistema energético brasileiro (EPE).

A necessidade de expansão de linhas de transmissão é um fator acoplado ao plano de expansão da matriz elétrica, tal necessidade se dá pelos resultados concebidos nos últimos leilões para FRA nos quais majoritariamente a potência vencedora está localizada no litoral Nordeste e Bahia e o aumento da carga nessas regiões, cerca de 3,5 GW médios como mostra a Tabela 2, será menor que o crescimento da geração, cerca de 20 GW apenas de usinas eólicas (EPE, 2018c). Por questões de estabilidade e atendimento a demanda de outras regiões, neste caso, o planejamento de fluxo de carga provindo das futuras fontes para os subsistemas das redondezas é necessário (EPE, 2018a).

Tabela 2 - SIN e subsistemas: carga de energia

Ano	Subsistema				SIN
	Norte	Nordeste	Sudeste/CO	Sul	
MWmédio					
2007	3.547	7.316	31.284	8.372	50.518
2012	4.118	9.068	37.112	10.256	60.553
2017	5.568	10.569	38.166	11.282	65.585
2022	7.287	12.843	45.255	13.315	78.700
2027	8.645	15.490	53.312	15.768	93.214
Período					
Variação (% a.a.)					
2006-2011	3,0%	4,4%	3,5%	4,1%	3,7%
2011-2016	6,2%	3,1%	0,6%	1,9%	1,6%
2017-2022	5,5%	4,0%	3,5%	3,4%	3,7%
2022-2027	3,5%	3,8%	3,3%	3,4%	3,4%
2017-2027	4,5%	3,9%	3,4%	3,4%	3,6%

Notas: (1) Interligações de Acre/Rondônia, Manaus e Macapá ocorridas em novembro/2009, julho/2013 e outubro/2015, respectivamente. Considera a interligação de Boavista a partir de 2023 ao subsistema Norte.

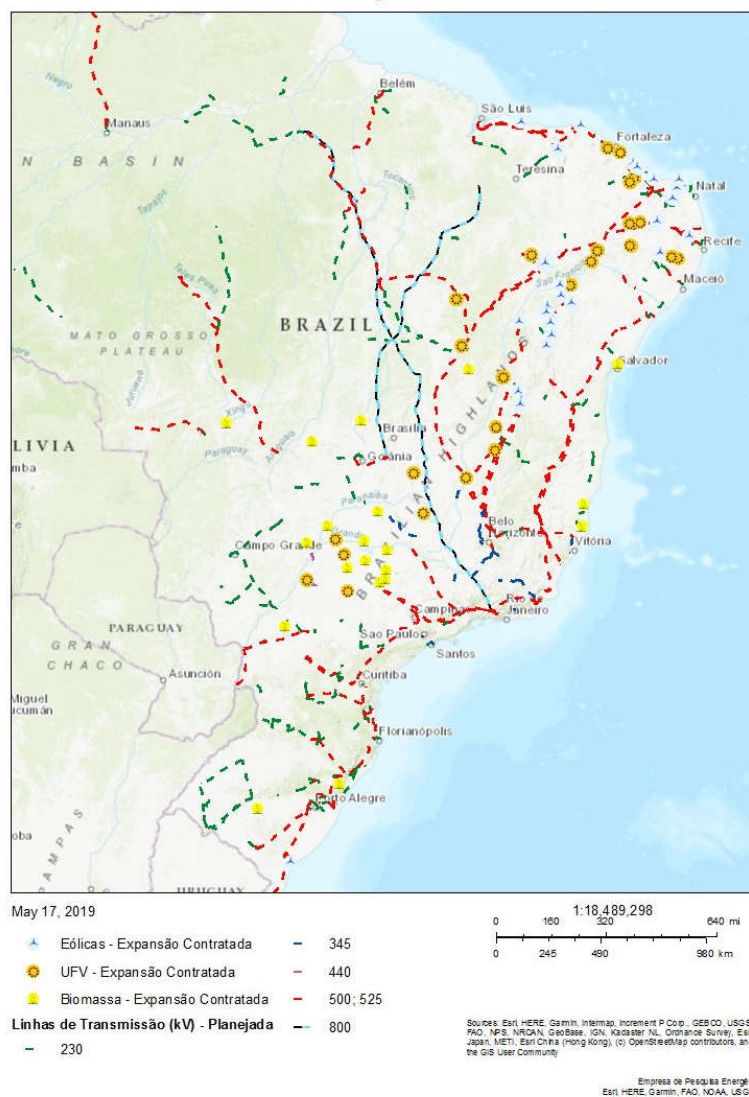
(2) Dados preliminares para 2017.

Fontes: ONS (histórico) e EPE (projeção).

Fonte: EPE, 2018c.

Apresentado a dispersão geográfica das FRA, Figura 6, e a inevitabilidade de uma forte expansão do sistema de transmissão para abarcar o crescimento destas fontes, cabe frisar que esse não é um problema novo para o SEB onde há grandes UHEs distantes dos principais centros de carga. Mas que trazem novos desafios devidos aos efeitos da instabilidade das fontes renováveis variáveis, onde em períodos de baixa produção, a demanda deve ser atendida por outras fontes e em períodos de alta produção o excesso de energia gerado deve ser despachado para outras regiões (FLÁVIO, 2015).

Figura 6 - Mapa da expansão das FRA e linhas de transmissão já contratados



Fonte: Autores, adaptado do WEBMAP interativo do sistema energético brasileiro (EPE).

Linhas de transmissão possuem como característica intrínseca perdas técnicas, que é a diferença entre a energia gerada e a entregue nas redes de distribuição. Segundo dados da Superintendência de Gestão Tarifária da ANEEL no ano de 2016 as perdas na rede básica corresponderam a 1,6% da energia injetada, sendo os custos dessas perdas divididos igualmente entre agente da geração e da distribuição (ANEEL, 2018d). Considerando esses fatores com a expansão das linhas de transmissão citada anteriormente, é previsto um maior impacto das perdas técnicas na matriz elétrica, onerando o custo da produção de energia elétrica.

O planejamento da expansão da transmissão (PET) busca determinar a localização e quantidade de reforço na rede de transmissão bem como o tempo adequado para execução do projeto (FLÁVIO, 2015). No longo prazo o PET foca em aspectos macros tais como: aumento da demanda, alterações no mercado, evolução temporal dos reforços e incertezas internas e externas. As incertezas externas como operações no mercado de energia e disponibilidade de energia bem como alterações na dinâmica do mercado de energia são fatores agudamente influenciados pela expansão das FRAs e que trazem novos desafios para operação adequada da matriz elétrica brasileira.

4.5 MODERNIZAR A OPERAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO

Expansão, implementação e projeção de novos sistemas de geração/distribuição carregam tecnologias de ponta capazes de manejar as diversificadas singularidades de suas máquinas e equipamentos sempre com maior eficácia. Em tópicos anteriores já houve menção da inevitável modernização do sistema de geração e distribuição existente, tanto no seu sentido físico quanto legislativo, financeiro e operacional, primeiramente um lampejo dos quesitos físicos constados ao atual sistema interligado serão brevemente abordados visando breve contextualização.

Máquinas consideradas já antigas ou defasadas, em sua maioria, tendem a acumular maiores gastos reativos tornando sua eficiência proporcionalmente inversa ao seu tempo de operação. Visando mapear as condições de tais máquinas inseridas no sistema de transmissão a ANEEL determinou na Resolução Normativa em 2011 (REN n°443/2011), revisada em 2014 (REN n°643/2014), agregando a obrigatoriedade das concessionárias a encaminharem aos órgãos reguladores nacionais (ANEEL, ONS, EPE e MME) relatórios objetivos distinguindo relação de equipamentos, contidos no sistema, e respectivas informações ao redor de sua vida útil, desta forma, resultados são formulados abastecendo dados relevantes quanto aos investimentos necessários para uma manutenção nominal das máquinas, além de outros indicadores. Resumidamente, um montante de 80 mil equipamentos se encontra com vida útil esgotada até cerca de 2022, se porventura manobras capazes de regularizar suas operações ou substituir tais máquinas forem realizadas corretamente, seguindo cronogramas ideais, custos podem atingir a margem de R\$ 21,0 bilhões arrematados (ONS, 2018).

Os números apresentados também podem ser interpretados como um indicador do envelhecimento do sistema de transmissão nacional, investimentos em sua modernização devem ser realizados e carecem de pesquisa, a única certeza é que o desgaste é agravado a medida em que novas fontes intermitentes são adicionadas a rede. Apesar do painel não aparentar boa forma, soluções integradas são uma realidade, o conceito de redes elétricas inteligentes é capaz de abordar a necessidade de modernização do sistema e outras exigências que abrangem estabilidade, confiabilidade e afins, fatores imprescindíveis quanto a expansão eminente de um modelo em geração distribuída (EPE, 2018a).

A intermitência das fontes renováveis variáveis é um desafio para o operador do sistema elétrico que precisa superar picos e vales na curva de produção de eletricidade à medida que nuvens e ventos vêm e vão. Como mencionado anteriormente a dispersão espacial das plantas geradores é capaz de reduzir substancialmente a variabilidade do conjunto (EPE, 2018a). Outra forma de reduzir os impactos da alta taxa de variabilidade dessas fontes é através de previsão do tempo mais eficiente, precisa e com mais horas de antecedência, do quanto de vento e sol é esperado para geração e ajustar a oferta das fontes variáveis em tempo real ajudando no balanço da oferta e demanda através de uma operação ágil do operador do sistema onde é possível reduzir rampas nas curvas de geração de fontes controláveis. Vale ressaltar que previsão do tempo é mais precisa à medida que se aproxima do tempo real, achando o tempo de manobra do operador (COCHRAN et al, 2012).

Uma vez que a potência ofertada pelas fontes renováveis variáveis não é controlada e possuem custo variável zero, estas passam a ter preferência no despacho de potência reduzindo o uso de fontes controláveis em especial as de custo variável mais elevado como é o caso das usinas termoelétricas. As usinas térmicas então são forçadas a alterar a potência despachada com mais frequência, são forçadas a operar em nível de produção mínimo por períodos de tempo maiores, assim como precisam desligar e iniciar a operação com mais frequência. Essa operação forçada das usinas térmicas eleva o custo de operação e manutenção, elevando assim o custo da energia gerada (SCHMALENSEE et al ,2015). Um número maior de manobras no sistema elétrico também eleva o custo operacional das redes de transmissão, exigindo equipamentos mais versáteis e caros e reduzindo a vida útil do sistema como um todo.

As fontes renováveis intermitentes possuem uma menor capacidade de manobra para controle de tensão e frequência da rede como foi mencionado anteriormente. Assim é exigido uma maior participação de agentes com fornecimento de serviços ancilares, onde os geradores atuam no controle de tensão, frequência e partida autônoma, na transmissão há atuação no controle de tensão e consumidores no controle de frequência. Onerando em custo operacional e financeiro a geração de energia elétrica ligada ao SIN.

5 CONCLUSÃO

A matriz elétrica brasileira possui uma configuração marcante como uma matriz hidrotérmica com amplo predomínio de fontes com despacho controlável. Porém nos últimos anos a participação de fontes renováveis não despacháveis passam por um momento de expressiva expansão.

Esse crescimento da participação de fontes renováveis variáveis na matriz elétrica é observado também em diversos países no mundo com destaque para os países da União Europeia, Austrália e Estados Unidos. Cada país adota uma abordagem diferente para lidar com o aumento dessas fontes em sua matriz elétrica, de acordo com suas políticas públicas, base da matriz elétrica, características geográficas e relações com países vizinhos. Apesar da diversidade de abordagens estas podem ser agrupadas em cinco áreas estratégicas: buscar aceitação pública em especial para novas linhas de transmissão, coordenação e integração no planejamento, desenvolver um mercado flexível o bastante para operar com fontes renováveis, expansão de fontes e localização geográfica das mesmas e modernizar a operação do sistema elétrico.

A acelerada expansão das fontes renováveis alternativas, que são intrinsecamente fontes variáveis, na matriz elétrica brasileira promove mudanças nas características operacionais da mesma. Em 2017 essas fontes correspondiam a 11% da geração devendo chegar a 18% em 2027. Esse aumento pode parecer pequeno, mas corresponde a um aumento de 142% na geração eólica, 1700% na geração solar concentrada e 52% na geração térmica a biomassa.

Esse aumento rápido e contínuo das fontes variáveis gera impactos em diversos âmbitos do Setor Elétrico Brasileiro, exigindo assim uma alteração no planejamento e operação do mesmo. Os principais impactos identificados devido ao aumento do uso de fontes renováveis alternativas na matriz elétrica brasileira foram:

- atrasos na expansão da transmissão para conectar novas fontes geradoras com centros de carga gerando assim alto grau de incerteza para os investidores;

- a não aceitação pública de novos empreendimentos próximos a áreas de preservação, turísticas e de populações tradicionais geram atrasos na instalação dificultando o planejamento no médio prazo;

- subutilização de fontes de geração tradicional na geração de base e elevado uso destas para controle nas variações de carga/demanda, aumentando assim o custo destas fontes;

- aumento no percentual de capacidade complementar de geração em relação à capacidade total instalada;

- necessidade de grande expansão das linhas de transmissão do SIN, com previsão de investimentos na ordem de R\$ 12 bilhões de reais por ano até 2026, uma vez que as FRA em maior parte localizam-se distante dos maiores centros de carga;

- reduz a capacidade inata do sistema responder a contingências, tanto em frequência quanto em tensão;

- requisição de maior modernização do mercado de energia, principalmente o mercado livre, para melhor se adequar às frequentes variações da geração e inclusão de serviços ancilares de forma dissociado da geração;

- influências de micro variações climáticas exercem maior influência com FRA o que exige o aprimoramento do sistema de previsão do tempo;

- redução da vida útil de equipamentos de transmissão e manobra;

Logo fica claro que as fontes renováveis alternativas trazem impactos positivos e negativos para a matriz elétrica, e estes impactos devem ser encarados como uma adversidade intrínseca do sistema uma vez que a participação dessas fontes deve continuar crescendo no longo prazo. O Brasil vem realizando um trabalho no planejamento no Sistema Elétrico Brasileiro, utilizando um portfólio de projeções e experiências fornecidos pelos seus agentes, ANEEL, EPE e ONS, bem como pelo intercâmbio de informações com outros países.

Para trabalhos futuros, a sugestão são trabalhos que foquem em apenas um dos segmentos dos impactos causados pelas fontes renováveis alternativas, possibilitando assim, um maior aprofundamento em cada tópico. Dessa forma seriam possíveis buscas mais detalhadas de impactos pontuais e formas de mitigar e superar as adversidades que surgem com a expansão dessas fontes.

REFERÊNCIAS

- ABEEólica - Associação Brasileira de Energia Eólica. Disponível em: <http://www.abeeolica.org.br/quem-somos>. Acessado em 23 de Setembro de 2018.
- ABEEólica - Associação Brasileira de Energia Eólica. **Boletim Anual de Geração Eólica 2017**. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2018/04/Boletim-Anual-de-Geracao-2017.pdf>. Acessado em 23 de Setembro de 2018.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **BIG – Banco de Informações de Geração: Capacidade de Geração do Brasil**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acessado em 06 maio 2018a.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **BIG – Banco de Informações de Geração: Usinas e Centrais Geradoras**. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset_publisher/mJhnKLi7qcJG/content/big-banco-de-informacoes-de-geracao/655808. Acessado em 01 setembro 2018b.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Acompanhamento Diferenciado da Expansão da Transmissão**, Brasília, 2019a.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 77, DE 18 DE AGOSTO DE 2004**. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2004077.pdf>. Acesso em 09 de maio de 2019.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 166, DE 10 DE OUTUBRO DE 2005**. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2005166.pdf>. Acesso em 09 de maio de 2019.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 247, DE 21 DE DEZEMBRO DE 2006**. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2006247.pdf>. Acesso em 09 de maio de 2019.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 376, DE 25 DE AGOSTO DE 2009**. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2009376.pdf>. Acesso em 09 de maio de 2019.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414, DE 9 DE SETEMBRO DE 2010**. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>. Acesso em 09 de maio de 2019.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 745, DE 22 DE NOVEMBRO DE 2016**. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2016745.pdf>. Acesso em 09 de maio de 2019.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST** Disponível em <http://www.aneel.gov.br/prodist>. Acesso em 09 de maio de 2019.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 514, DE 30 DE OUTUBRO DE 2012**. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012514.pdf>. Acesso em 09 de maio de 2019.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil 3ª edição - 2008**. Brasília, 2008c. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas3ed.pdf>. Acesso em 12 de maio 2018.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Perdas de Energia**. Brasília, 2018d. Disponível em <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-permanentes/cme/audiencias-publicas/2018/audiencia-publica-16-05-2018/ANEEL%20-%20Perdas%20Eletricas%20-%20Davi%20Lima.pdf>. Acesso em 26 de maio de 2019.

ALVES, Jose Jakson Amancio. **Análise regional da energia eólica no Brasil**, Taubaté, 2009.

BARROS, Evandro Viera de. **A MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL E A COMPETITIVIDADE DAS NAÇÕES: BASES DE UMA NOVA GEOPOLÍTICA**. ENGEVISTA, v. 9, n. 1, p. 47-56, junho 2007

BRASIL. **DECRETO N° 5.163 DE 30 DE JULHO DE 2004**, Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, v. 132, n. 146-A, 30 jul. 2004. Edição extra Seção 1, pt. 1.

CAILLÉ, A. et al. 2007 **Survey of Energy Resources. United Kingdom: World Energy Council**, 2007. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.478.9340&rep=rep1&type=pdf>. Acessado em: 04 abril 2018.

CAMARGO-SCHUBERT. **Atlas eólico: Bahia** / elaborado por Camargo-Schubert Engenheiros Associados... [et al.]; dados do modelo mesoescala fornecidos por AWS Truepower.— Curitiba : Camargo Schubert ; Salvador : SECTI : SEINFRA : CIMATEC/ SENAI, 2013.

CARDOSO JR, Ricardo A. F. **Licenciamento Ambiental de Sistemas de Transmissão de Energia Elétrica no Brasil: Estudo de Caso do Sistema de Transmissão do Madeira**, Rio de Janeiro, 2014.

CASTRO, Nivalde J. de. **O Papel do Brasil no Processo de Integração do Setor Elétrico da América do Sul**, Rio de Janeiro, 2010.

CASTRO, Nivalde; BRANDÃO, Roberto; HUBNER, Nesol; DANTAS, Guilherme; ROSENAL, Rubens. **A formação do preço da energia elétrica: Experiências internacionais e o modelo brasileiro**. Texto de Discussão do Setor Elétrico - TDSE n°62, Rio de Janeiro, 2014.

CEPEL - **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro: Simulações 2013** / Centro de Pesquisas de Energia Elétrica-CEPEL – Rio de Janeiro, 2017.

COCHRAN, Jaquelin. et al, **INTEGRATION VARIABLE RENEWABLE ENERGY IN ELECTRIC POWER MARKETS: Best Practices from International Experience**, NREL, 2012

POTTMAIER, D. et al. The Brazilian energy matrix: From a materials science and engineering perspective. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 19, p. 678-691, 2013.

DUNLAP, R.A. **Sustainable energy**. Halifax: Dalhousie University, 2015.

ELS, Rudi H. v., VIANNA, João N. d. S., Jr., Antônio. C. P. B. **The Brazilian experience of rural electrification in the Amazon with decentralized generation – The need to change the paradigm from electrification to development**. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 16(3), 1450-1461, 2012.

EPE. **Desafios da Transmissão no Longo Prazo, Documento de Apoio ao PNE 250**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Rio de Janeiro, 2018a.

EPE. **Flexibilidade e Capacidade: Conceitos para a incorporação de atributos ao planejamento**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Rio de Janeiro, 2018b.

EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 (PDE 2026)** - Empresa de Pesquisa Energética (EPE) 2017.

EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2027 (PDE 2027)** - Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Rio de Janeiro, 2018c.

EPE. **Plano Nacional de Energia – PNE 2050** – Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Rio de Janeiro, 2018d.

FARACO, A. D; COUTINHO, D. R. - **Regulação da indústria de rede: entre flexibilidade e estabilidade**. *Revista de Economia Política*, vol. 27, nº 2 (106), pp. 261-280, abril-junho/2007

FERNANDES, Bernardo Mançano et al, **Políticas fundiárias no Brasil**. International Land Coalition, 2012.

FLÁVIO, A. S. **PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DE SISTEMAS DE TRANSMISSÃO COM ELEVADA PARTICIPAÇÃO DE FONTES RENOVÁVEIS**. Itajubá, 2015

GALTenergia. **Em 2019 não haverá horário de verão**. Disponível em: <https://www.galtenergia.com/2019/04/15/em-2019-nao-havera-horario-de-verao>. Acesso em 23/06/2019

GELLER, Howard; SHAEFFER, Roberto; SZKLO, Alexandre; TOLMASQUIM, Mauricio. **Policies for advancing energy efficiency and renewable energy use in Brazil**. *Energy Policy*, vol.32 Issue 12, p.143-1450, agosto 2004.

GENOVESE, Alex Leão, UDAETA, Miguel Edgar Morales and GALVAO, Luiz Cláudio Ribeiro. **Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000100021&lng=en&nrm=abn. Acesso em: 30 de setembro de 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em 01 de setembro de 2018.

IEA. **World Energy Outlook 2016**, International Energy Agency (IEA), Paris, 2016.

IRENA. **CONFERENCE ON THE ESTABLISHMENT OF THE INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY – Statute of IRENA signed in Bonn**, International Renewable Energy Agency (IRENA), Bonn, 2009.

IRENA. **Planning for the renewable future Long-term modelling and tools to expand variable renewable power in emerging economies**, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi, 2017.

MME - Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/destaques-do-setor-de-energia/leiloes-de-energia>. Acesso em: 23/03/2019

NERC - **NERC IVGTF Task 2.4 Report Operating Practices, Procedures, and Tools**. Princeton, North American Electric Reliability Corporation. Nova Jersey, 2011.

ONS. **Plano de Operação Energética 2017/2021 PEN 2017**. Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), Rio de Janeiro, 2017.

ONS. **Plano de Ampliação e Reforço nas Instalações de Transmissão do SIN - PAR Executivo 2019-2023**. Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), Rio de Janeiro, 2018.

ONS. **Dados da Geração Eólica**. Disponível em: <http://ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/boletim-geracao-eolica.aspx>. 2019a. Acesso em 23/06/2019

ONS. **Dados da Geração Solar Fotovoltaica no SIN**. Disponível em: <http://ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/boletim-geracao-solar.aspx>. 2019b. Acesso em 23/06/2019

PEREIRA, Enio; MARTINS, Fernando; ABREU, Samuel; RÜTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar** – São José dos Campos: INPE, 2006.

PESSOA, Viviany S. **Análise do conhecimento e das atitudes frente às fontes renováveis de energia: uma contribuição da Psicologia**. João Pessoa, 2011.

Portal Brasil. **Recursos Hídricos**. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2010/11/recursos-hidricos>. Acesso em 04 de maio de 2018.

PORTO, F. P.; FINAMORE, R; FERREIRA, H. - **Injustiças da sustentabilidade: Conflitos ambientais relacionados à produção de energia “limpa” no Brasil.** Revista Crítica de Ciências Sociais, 100, 2013.

PRATES, C. P. T; PIEROBON, E. C; da COSTA, R. C; FIGUEIREDO, V. S. - **Evolução da oferta de gás natural no Brasil.** BNDES, Rio de Janeiro, 2006.

SCHMALENSEE, R., V. BULOVIC, R. ARMSTRONG, C. BATLLE, P. Brown, J. DEUTCH, H. JACOBY, R. JAFFE, J. JEAN, R. MILLER, F. O'SULLIVAN, J. PARSONS, J.I. PÉREZ-ARRIAGA, N. SEIFKAR, R. STONER and C. VERGARA. **The Future of Solar Energy an Interdisciplinary MIT Study.** Massachusetts Institute of Technology, MIT Energy Initiative, Cambridge, 2015

SENA, Lunardo A. de. **Impacto e aceitação social de energias renováveis na matriz elétrica brasileira: o caso do Estado do Rio Grande do Norte.** 2016

SIN - <http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin>. Acesso em 01 de setembro 2018.

TDSE- N°19 - Textos de Discussão do Setor Elétrico No19 -**Considerações sobre as Perspectivas da Matriz Elétrica Brasileira;** Nivalde José de Castro, Guilherme de A. Dantas, André Luis da Silva Leite, Roberto Brandão, Raul R. Timponi.

TOLMASQUIM, M. T. **Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil.** Rio de Janeiro, 2012.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear.** EPE: Rio de Janeiro, 2016.

FERREIRA, T. C. G.; MAUAD, F. F.; TRINDADE, T. C. G. - **Energia Renovável no Brasil,** Análise das principais fontes energéticas renováveis Brasileiras - EESC/USP 2017 - São Carlos, 2017.

UNFPA (United Nations Population Fund). **The State of World Population 2001.** United Nations Population Fund, New York, 2001.

WANDERLEY, A. C. F.; CAMPOS, A. L. P. S. – **Perspectivas de Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Geração de Energia Elétrica no Rio Grande do Norte.** Natal, 2013.

WEC. **Variable renewable energy sources integration in electricity systems.** World Energy Council (WEC), Londres, 2016.