

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Flávio Gomide de Sousa

A Matriz Elétrica Brasileira e a Transição Energética no Brasil

Belo Horizonte - MG
Dezembro de 2019

A Matriz Elétrica Brasileira e a Transição Energética no Brasil

Monografia submetida à Banca Examinadora designada pela Comissão Coordenadora da Especialização em Fontes Renováveis, como parte dos requisitos necessários à obtenção do *Certificado de Especialista em Fontes Renováveis*.

Orientadora: Prof^ª. Dra Wadaed Uturbey

Belo Horizonte - MG
2019

S725m Sousa, Flávio Gomide de.
A matriz elétrica brasileira e a transição energética no Brasil
[recurso eletrônico] / Flávio Gomide de Sousa. – 2019.
1 recurso online (52 f. : il., color.) : pdf.

Orientadora: Wadaed Uturbey.

“Monografia apresentada ao Curso de Especialização em
Fontes Renováveis da Escola de Engenharia da Universidade
Federal de Minas Gerais”

Bibliografia: f.51-52.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Engenharia Elétrica. 2. Política energética. 3. Energia – Fontes
alternativas. I. Uturbey, Wadaded. II. Universidade Federal de Minas
Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 621.3

Ficha catalográfica: Biblioteca Profº Mário Werneck, Escola de Engenharia da UFMG



ATA DA DEFESA DA MONOGRAFIA DO ALUNO FLÁVIO GOMIDE DE SOUSA

Realizou-se, no dia 05 de dezembro de 2019, às 13:00 horas, Sala de Seminários 1012 - Escola de Engenharia da UFMG, da Universidade Federal de Minas Gerais, a defesa de monografia, intitulada *A Matriz Elétrica Brasileira e a Transição Energética no Brasil*, apresentada por FLÁVIO GOMIDE DE SOUSA, número de registro 2018704162, graduado no curso de ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA, como requisito parcial para a obtenção do certificado de Especialista em FONTES RENOVÁVEIS - GERAÇÃO, OPERAÇÃO E INTEGRAÇÃO, à seguinte Comissão Examinadora: Prof(a). Wadaed Uturbey da Costa - Orientador (UFMG), Prof(a). Bruno Marciano Lopes (CEMIG).

A Comissão considerou a monografia:

Aprovada

Reprovada

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.
Belo Horizonte, 05 de dezembro de 2019.

Prof(a). Wadaed Uturbey da Costa (Doutora)

Prof(a). Bruno Marciano Lopes (Mestre)

Secretaria do Curso de Especialização em
Fontes Renováveis - Geração, Operação
e Integração

AGRADECIMENTOS

À minha família, de onde me ausentei em vários finais de semana. Maria Luísa, Isa e Davi, amo vocês e meu muito obrigado!

À minha orientadora Prof^ª. Wadaed Uturbey, primeiro pelo aceite do convite em orientar meu trabalho mesmo com a distância física, e segundo pela referência técnica e didática em contribuir, permitindo que ideias pulverizadas fossem sendo consolidadas e organizadas para formação deste trabalho.

E todos os demais que, de alguma forma, contribuíram!

RESUMO

A motivação deste trabalho surge na união de um cenário intenso de alertas sobre a necessidade de transição energética e a ementa do curso de Especialização em Fontes Renováveis. A transição energética pode ser definida como o caminho para transformação do setor energético atual, com forte dependência de combustíveis fósseis, em um setor composto de fontes renováveis, com baixa emissão de CO₂. O presente trabalho contribui para termos uma visão mais ampla da Matriz Elétrica Brasileira e a Transição Energética no Brasil, abordando a evolução dos dois temas até o momento, e avaliando as projeções para os próximos anos.

Para a abordagem da matriz elétrica brasileira é feito um levantamento dos principais recursos renováveis disponíveis no Brasil e seus respectivos potenciais. Na sequência mergulhamos no tema principal do trabalho que é a transição energética, a nível global e especificamente no Brasil. O foco é apresentar como o Brasil está se posicionando na transição energética efetiva, elencando as principais dificuldades até o momento e ainda os desafios pela frente.

Por fim utilizamos o subsistema elétrico do nordeste para avaliar os principais efeitos da transição energética, uma vez que se trata de um subsistema com grande inserção de novas fontes renováveis como eólica e solar.

Palavras-chave: Matriz elétrica. Transição energética. Fontes Renováveis.

ABSTRACT

The motivation of this work comes from the union of an intense scenario of warnings about the need for energy transition and the specialization course of Renewable Sources. Energy transition can be defined as the way to transform the current energy sector, which is heavily reliant on fossil fuels, into a sector with renewable sources of low CO₂ emissions. This study contributes to a broader view of the Brazilian Electricity Matrix and the Energy Transition in Brazil, addressing the evolution of both themes so far, and evaluating the projections for the coming years.

For the approach of the Brazilian electric matrix is made a survey of the main renewable resources available in Brazil and their respective potentials. Then we dive into the main theme of the study that is the energy transition, globally and specifically in Brazil. The focus is to present how Brazil is positioning itself in the effective energy transition, listing the main difficulties so far and the challenges ahead.

Finally we use the northeast electric subsystem to evaluate the main effects of the energy transition, since it is a subsystem with intensive insertion of new renewable sources such as wind and solar.

Keywords: Electrical matrix. Energetic transition. Renewable sources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Matriz Elétrica Mundial	14
Figura 02: Matriz Elétrica Brasileira	15
Figura 03: Produção Bruta de Eletricidade membros OCDE	15
Figura 04: Produção Bruta de Eletricidade não membros OCDE	16
Figura 05: Evolução da Participação das Renováveis por Região	17
Figura 06: Mapa Global da Transição Energética	18
Figura 07: Evolução da Capacidade Instalada no Brasil	20
Figura 08: Participação das Fontes na Evolução da Capacidade Instalada	20
Figura 09: Incremento Médio Anual da Capacidade Instalada	21
Figura 10: Matriz Elétrica Brasileira	21
Figura 11: Potencial de Expansão da Biomassa	23
Figura 12: Potencial Hidrelétrico	24
Figura 13: Mapa do Potencial Hidrelétrico	25
Figura 14: Comportamento da Carga no SIN	26
Figura 15: Mapa do Potencial Eólico	27
Figura 16: Projeção do Potencial Eólico	28
Figura 17: Evolução/Projeção da Capacidade Instalada Eólica	29
Figura 18: Mapa de Irradiação Solar	30
Figura 19: Geração de Energia Solar Brasil	31
Figura 20: Desafio Global da Transição Energética	32
Figura 21: Relação PIB versus Emissão CO ₂	33
Figura 22: Emissões acumuladas de CO ₂	34
Figura 23: Consumo de Energia Mundial por Fonte	34
Figura 24: Consumo de Energia Renováveis por Região	35
Figura 25: Projeção da Matriz Elétrica Brasileira	36
Figura 26: Expansão contratada até 2018 – Incremento anual	37

Figura 27: Expansão projetada até 2027 – Incremento anual	37
Figura 28: Matriz Elétrica Brasil x Mundo	38
Figura 29: Redução da Participação na Matriz Brasileira da Fonte Térmica	39
Figura 30: Relação das Perdas Energéticas x Fonte Térmica	40
Figura 31: Limites das Interligações Inter-Regionais	42
Figura 32: Projeção de Aumento de Carga Brasil	43
Figura 33: Histórico e Projeção da Elasticidade-renda da demanda de eletricidade	44
Figura 34: Projeção de Aumento de Carga no Subsistema Nordeste	44
Figura 35: Projeção Capacidade Instalada no Subsistema Nordeste	45
Figura 36: Corredores de Exportação da Região Nordeste	47
Figura 37: Balanço Energético do Nordeste	48

LISTA DE SIGLAS

ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanço Energético Nacional desenvolvido anualmente pela EPE
BP	British Petroleum, empresa multinacional sediada no Reino Unido que opera no setor de energia, sobretudo de petróleo e gás.
CCEE	Câmara Comercializadora de Energia Elétrica
IEA	International Energy Agency
MME	Ministério de Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema
PAR	Plano de Ampliações e Reforços nas Instalações de Transmissão do SIN
PEN	Plano de Operação Energética (ONS)
PEL	Plano de Operação Elétrica (ONS)
PIB	Produto Interno Bruto
SIN	Sistema Interligado Nacional

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO

- 1.1. Relevância do tema
- 1.2. Objetivo Principais

2. MATRIZ ELÉTRICA

- 2.1. Definições sobre Matriz Elétrica
- 2.2. Evolução da Matriz Elétrica Mundial
- 2.3. Tendências da Matriz Elétrica Global
- 2.4. Matriz Elétrica Brasileira

3. TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

- 3.1. Introdução
- 3.2. Desafios e Trajetória da Transição Energética Mundial
- 3.3. Transição Energética no Brasil

4. OS EFEITOS DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO SUBSISTEMA NORDESTE

- 4.1. SIN – Uma Visão Geral do Sistema Interligado Nacional
- 4.2. Projeções e Tendências para o Subsistema Nordeste

5. CONCLUSÕES

1. INTRODUÇÃO

1.1. Relevância do tema

O Brasil mantém-se como referência internacional em recursos energéticos renováveis para produção de eletricidade, em sintonia com os compromissos internacionais de desenvolvimento sustentável. (LOSEKANN¹; TAVARES², 2019) Por outro lado, considerando sua base histórica renovável, a margem para se manter uma matriz predominantemente renovável diante de uma necessidade de expansão, se torna cada vez mais restrita.

Em paralelo, temos a transição energética, que é a busca por uma matriz energética de baixo carbono através de novas fontes renováveis, como uma das principais vertentes mundiais para o setor de energia. (LOSEKANN; TAVARES, 2019) Novas tecnologias, maior competitividade, e um mundo muito conectado serão os propulsores para a entrada das “novas” fontes de energia mais sustentáveis, em todas as matrizes.

Existe um foco das políticas globais para o tema da Transição Energética e o Brasil tem um posicionamento relevante, considerando suas vantagens no quesito de matriz de energia elétrica.

1.2. Objetivos Principais

Este trabalho está focado na caracterização da matriz elétrica brasileira e como a transição energética está se comportando no Brasil. O início será pela evolução da matriz elétrica brasileira com foco na entrada das novas fontes de energia, aproveitando para identificar os principais impactos desta transição energética.

Os objetivos específicos estão divididos em três capítulos: o primeiro com a apresentação do conceito e características da matriz elétrica, dando ênfase na participação das principais fontes renováveis. O segundo é utilizado para fazer uma avaliação detalhada do tema transição energética, começando pela motivação deste movimento global e afunilando com a realidade brasileira neste cenário de transição. E o terceiro, por fim, foi escolhido o subsistema nordeste como uma área específica para explorar os principais impactos da transição energética, onde temos uma das maiores concentrações de novas fontes renováveis conectando no Sistema Interligado Nacional (SIN).

¹ *Professor associado na Faculdade de Economia da Universidade Federal Fluminense (UFF); pesquisador associado do Grupo de Economia da Energia (GEE); e vice-presidente da Associação Brasileira de Estudos em Energia (AB3E).*

² *Pesquisador do GEE.*

2. MATRIZ ELÉTRICA

2.1. Definições sobre Matriz Elétrica

Como conceito básico, temos que a matriz elétrica de um país corresponde ao conjunto de todas as fontes utilizadas na geração de energia elétrica. (DOLLE, 2013) Os tipos de fontes e a participação destas fontes é que caracterizam uma matriz. Podemos classificar as fontes da matriz elétrica em dois tipos: renovável e não renovável. As fontes renováveis, utilizam recursos renováveis, ou seja, são aquelas fontes em que sua utilização e uso é renovável e pode-se manter e ser aproveitado ao longo do tempo sem esgotamento. Exemplos típicos de recursos renováveis são: hídricos, eólicos, geotermia, solar e marítima. Já as não renováveis são definidos como recursos teoricamente limitados, sendo que este limite depende dos recursos existentes no nosso planeta, como por exemplo os recursos derivados do petróleo, carvão, gás natural e nuclear. (EPE, 2019)

No mundo atualmente, a matriz elétrica é predominantemente não renovável conforme ilustrado na figura abaixo:

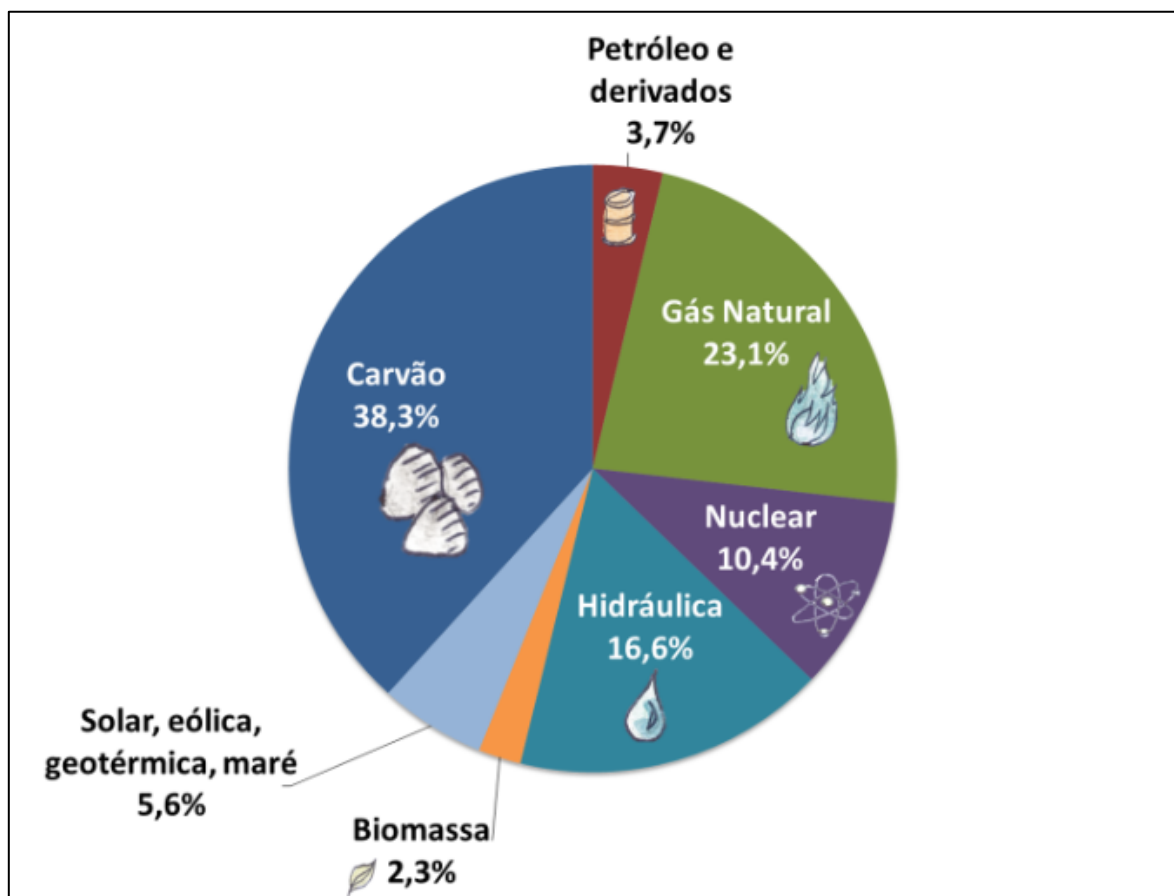


Figura 01: Matriz Elétrica Mundial – Fonte: Electricity Information 2018 – IEA – 2018

O Brasil tem uma configuração de matriz elétrica bem atípica se comparado com a média mundial. Mais de 80% da matriz brasileira é composta de fontes renováveis. Esta condição é suportada principalmente pela abundância dos recursos naturais do país (base hidráulica), no entanto ainda somos iniciantes na exploração das novas fontes como solar e eólica, se comparado com os países desenvolvidos. A Figura 02 abaixo ilustra este cenário, com destaque para a fonte hidráulica, com 66,6% de participação.

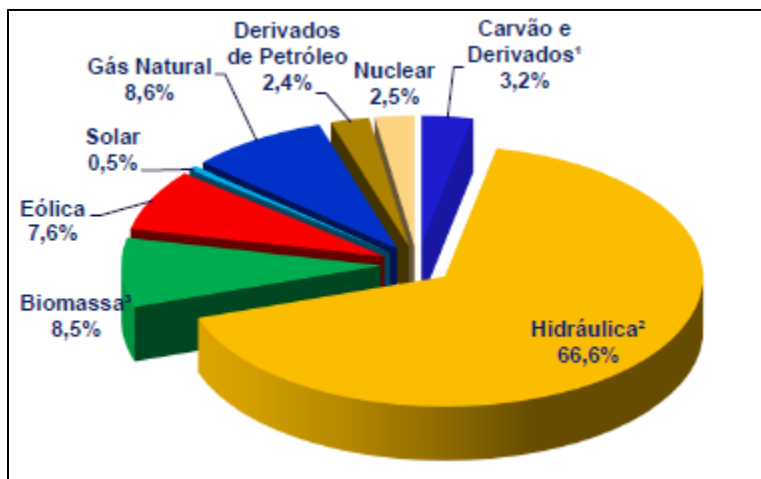


Figura 02: Matriz Elétrica Brasileira – Fonte: BEN – 2019

¹ Inclui gás de coqueria, gás de alto forno, gás de aciaria e alcatrão

² Inclui importação

³ Inclui lenha, bagaço de cana, lixo e outras fontes primárias.

2.2. Evolução da Matriz Elétrica Mundial

Conforme estudo publicado pela Agência Internacional de Energia (IEA), entre 1974 e 2016 a produção mundial de energia (incluindo as usinas hidrelétricas elevatórias) saltou de 6.298 TWh para 25.082 TWh, representando um crescimento médio de 3,3% ao ano.

Em 2016, a participação dos países não membros da OCDE (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico) atingiu 56,2% da geração mundial de eletricidade. Isto representa o dobro da participação (28,0%) que detinham em 1974, refletindo a taxa de crescimento média mais alta que tem prevalecido nos países não pertencentes à OCDE desde 2000.

De 1974 a 2000, a produção de eletricidade aumentou em média 4,6% ao ano, nos países não membros da OCDE contra 3,0% nos países da OCDE.

Outro aspecto importante de ser analisado é o histórico referente à variação na participação das principais fontes que compõem a matriz. Começando pela visão macro mundial, temos duas figuras abaixo que ilustram a evolução da produção de

energia, dividida em dois blocos: os países membros da OCDE e os países não membros da OCDE. É uma comparação interessante que podemos retirar algumas conclusões como o papel dos países mais desenvolvidos versus o perfil da respectiva matriz.

No caso dos países membros da OCDE, verificamos uma redução acentuada da participação da fonte à óleo a partir 1979, principalmente em função dos avanços tecnológicos para utilização da fonte nuclear e também o gás natural. A partir de 1988 temos um comportamento contrário entre as fontes carvão e gás natural, onde o carvão assume uma queda constante, saindo de mais de 40% de participação e atinge aproximadamente 27% em 2017, e o gás natural de forma oposta, sai de menos de 10% de participação e também em 2017 atinge aproximadamente 27%.

Já a fonte nuclear tem uma aceleração forte na participação da produção de energia entre as décadas de 70 e 90, assumindo a segunda posição em 1985. No entanto, começa perder força em 2006, perdendo a segunda posição para o gás natural, e tem uma redução mais acentuada em 2011 após o acidente Nuclear de Fukushima³.

Uma outra observação é que a transição energética para os países membros da OCDE é intensificada a partir de 2008 com a aceleração da entrada das fontes renováveis eólica, solar e geotérmicas.

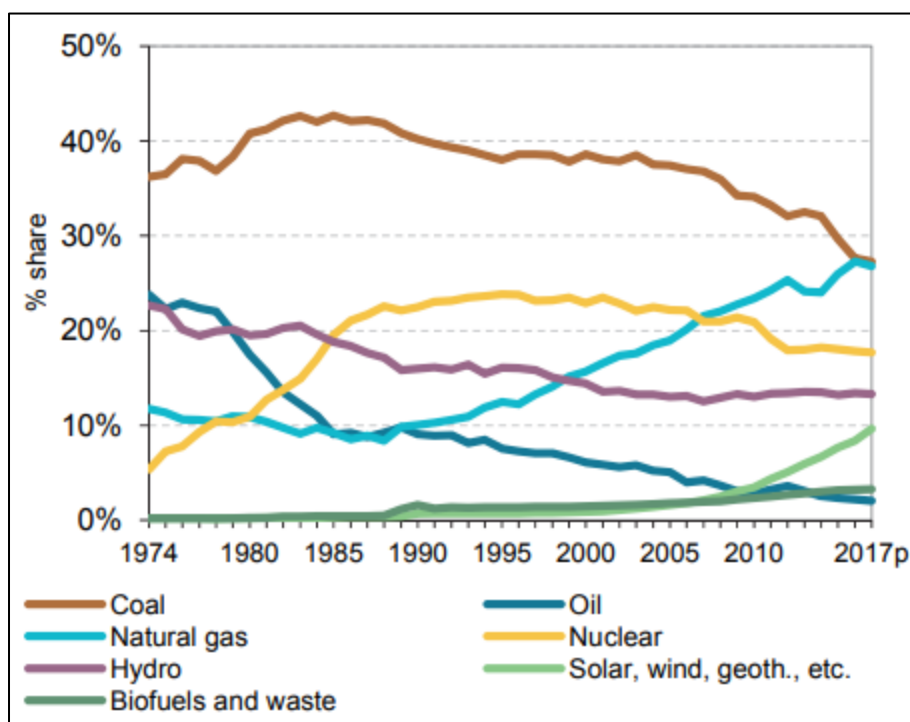


Figura 03: Produção Bruta de Eletricidade membros OCDE – Fonte: IEA – 2018

³ Foi um desastre nuclear ocorrido na Central Nuclear de Fukushima I em 11 de março de 2011, causado pelo derretimento de três dos seis reatores nucleares da usina. A falha ocorreu quando a usina foi atingida por um tsunami provocado por um maremoto de magnitude 8,7.

Do lado dos países não membros da OCDE, podemos observar o claro atraso no início da transição energética, que começa efetivamente somente a partir de 2012 com a entrada das fontes solar e eólica principalmente. Outro ponto de destaque, só que negativo, é que o carvão tem uma predominância ainda muito forte nestes países menos desenvolvidos. Quase metade da matriz estava apoiada no fonte carvão até 2016.

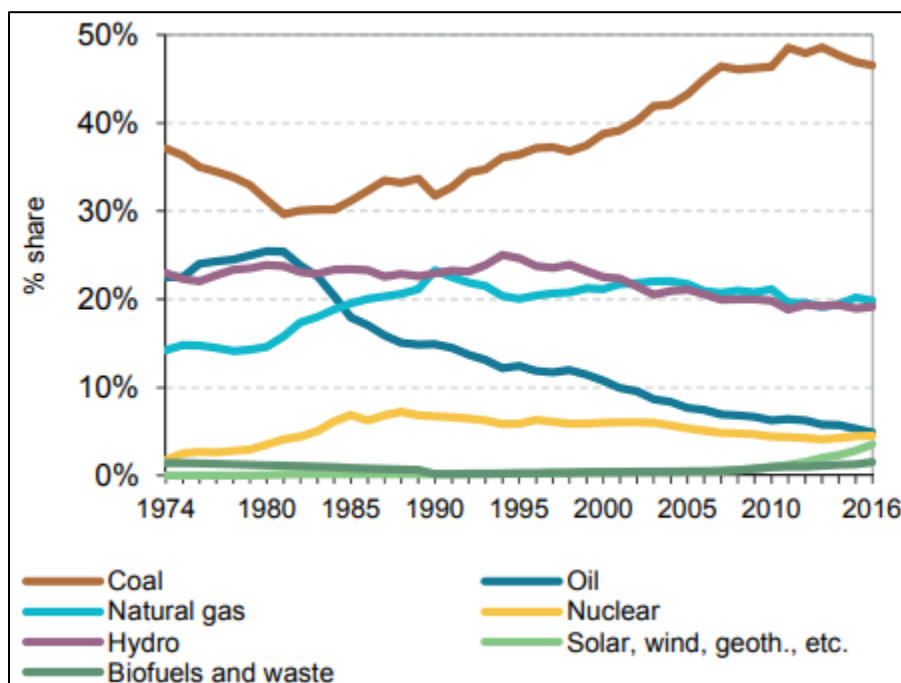


Figura 04: Produção Bruta de Eletricidade não membros OCDE – Fonte: IEA – 2018

2.3. Tendências da Matriz Elétrica Global

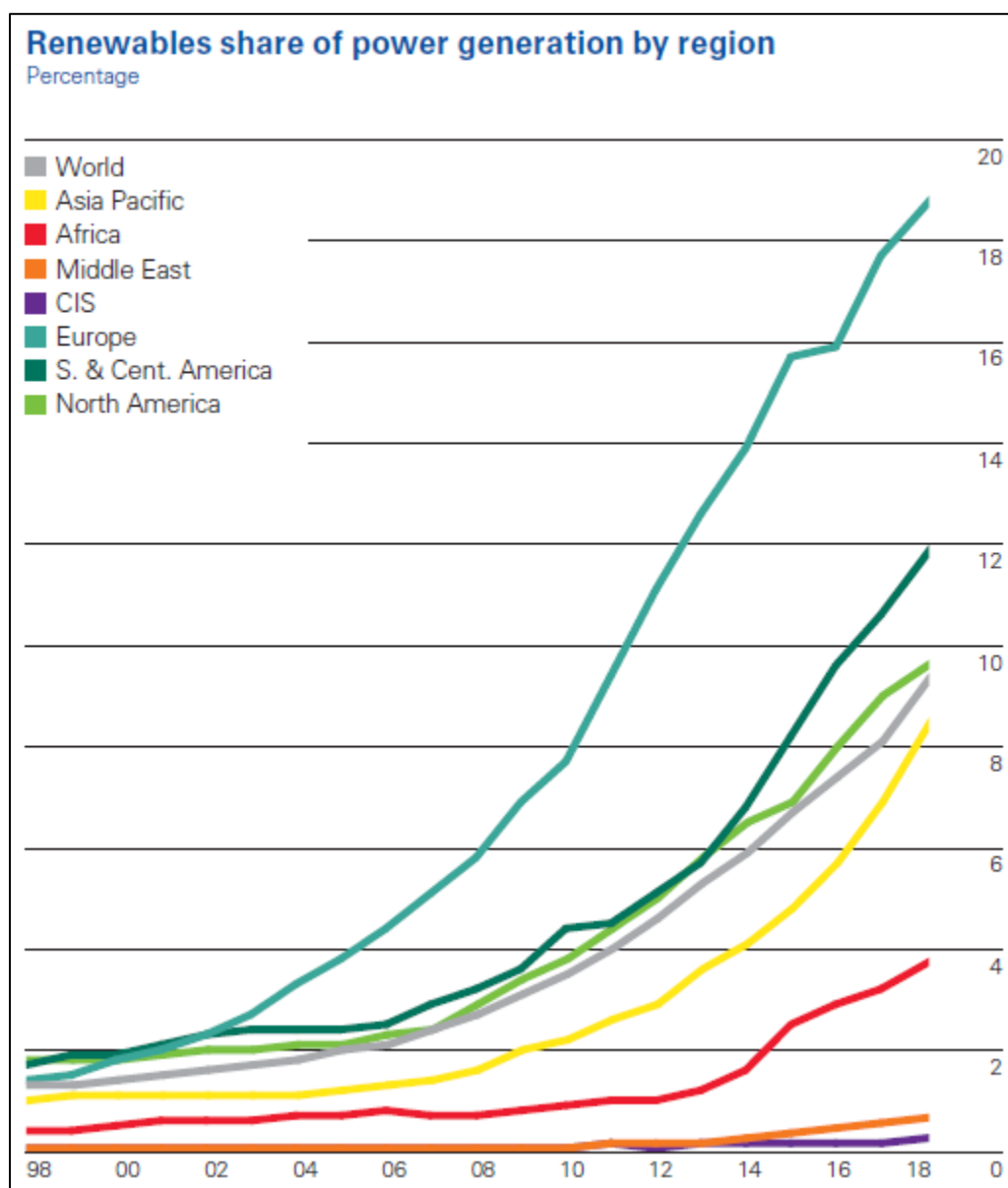


Figura 05 – Evolução da Participação das Renováveis por Região – Fonte: BP

O histórico recente das renováveis indica uma forte tendência de acelerar sua participação nas diversas matrizes. O gráfico acima traz o comportamento da participação das renováveis nos últimos anos, retirando a fonte hidrelétrica.

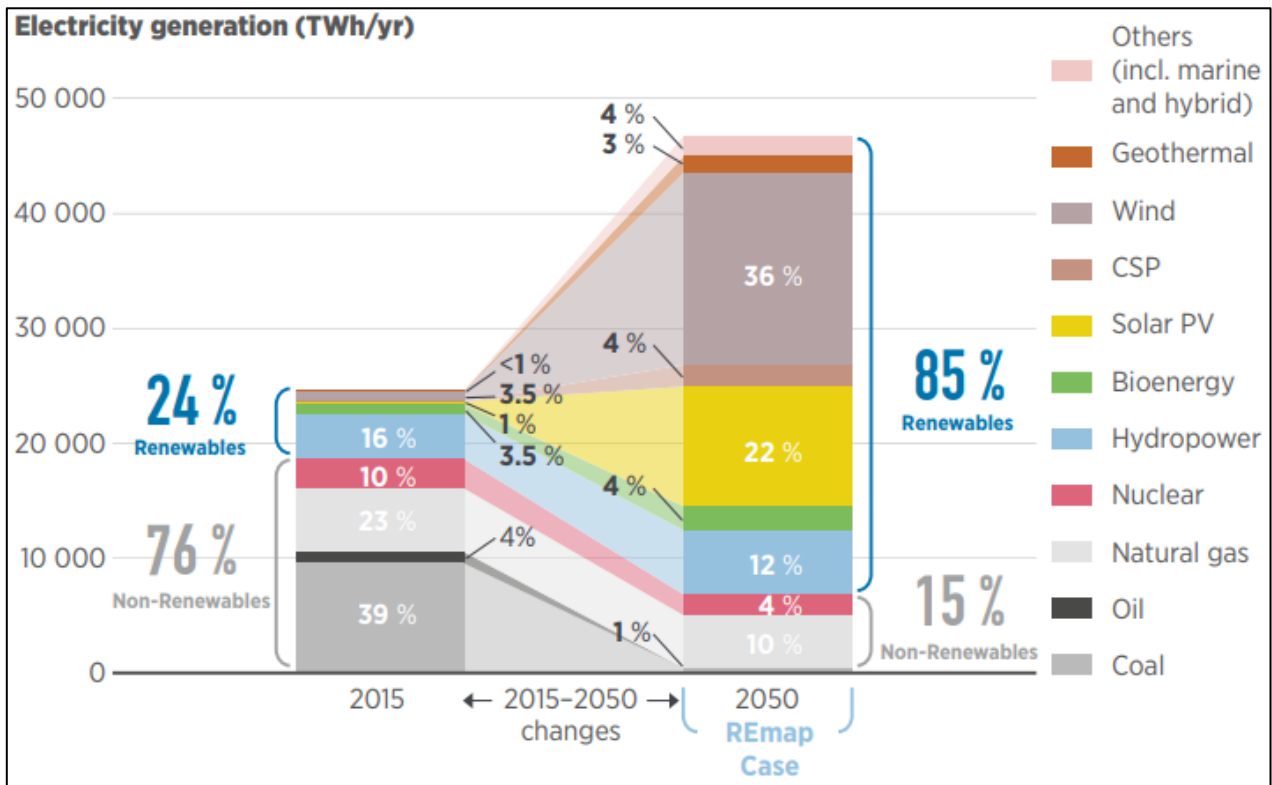


Figura 06 – Mapa Global da Transição Energética – Fonte: IRENA

Uma outra importante fonte, a IRENA (International Renewable Energy Agency), REmap, indica que as energias renováveis irão aumentar sua participação na matriz elétrica mundial de 24% em 2015 para 85% em 2050. São projeções de mudanças consideráveis, e este é o grande movimento, que iremos abordar com mais detalhes no Capítulo 3, Transição Energética.

2.4. Matriz Elétrica Brasileira

As primeiras iniciativas de uso de energia elétrica no país se concentraram na iluminação e transporte público, nos anos finais do século XIX. Na virada do século XIX para o XX, o processo de expansão urbana de São Paulo e Rio de Janeiro atraiu capital estrangeiro para instalar companhias de serviços público (investidores canadenses e americanos através das empresas *Rio de Janeiro e São Paulo Tramway, Light and Power Company*). (CARNEIRO, 2000)

Nessa época, com o emprego crescente da energia elétrica inicia-se então a exploração dos recursos hidrelétricos no país, começando de forma efetiva pelo aproveitamento das bacias dos rios Pirai, Paraíba do Sul e ribeirão das Lajes. Através da *Light*, em 1907, a usina de Fontes Velha inicia sua operação, atingindo 24.000 kW de potência instalada dois anos depois, o que representava 20% da capacidade instalada do país. (CORREA, 2003)

Em 1924, novo investidor externo entra no país, através da *American Foreign Power Company (Amforp)*, com a compra de várias pequenas concessionárias. Em 1930 a maior parte das atividades ligadas à energia elétrica já estava concentrada nas mãos da *Light* e da *Amforp*.

Com a crise de 1929⁴, veio a motivação e necessidade de redefinição do papel do Estado, migrando para uma atuação crescente de intervencionismo na esfera econômica. Um dos primeiros passos foi o aumento do poder de regulamentação sobre os serviços públicos, reduzindo drasticamente a concentração de mercado nas mãos dos grupos *Light* e *Amforp*. Medidas como interrupção dos processos de autorização de novos aproveitamentos de cursos de água; a proibição de aquisição de empresas; e a extinção da cláusula-ouro, mecanismo que era utilizado desde o primeiro contrato com a *São Paulo Light* e que garantia às empresas o reajuste sistemático das tarifas pela cotação do ouro, garantiram a retirada do monopólio de mercado até então praticado.

Dando sequência ao histórico da matriz elétrica brasileira, em 1934, através do decreto 24.643, de 10 de julho de 1934, é formalizado o Código de Águas, materializando então o projeto intervencionista na gestão do setor de águas e energia elétrica. Ao estabelecer em seu artigo 195 que as “autorizações ou concessões serão conferidas exclusivamente a brasileiros ou a empresas organizadas no Brasil”, o Código de Águas refreou a participação de companhias internacionais no setor.

O papel do estado no entanto não parou na esfera regulador/fiscalizador. Criação de empresas estatais como Chesf (Companhia Hidrelétrica do São Francisco) em 1945, no final da Era Vargas (1930-45), e várias outras companhias de energia elétrica no governo Juscelino Kubitschek (1956-61), colocou o estado atuando diretamente no setor elétrico, desde a geração, transmissão até a distribuição.

Na figura abaixo temos o histórico da capacidade instalada no Brasil. Somente em 1937 o Brasil ultrapassou a barreira de 1.000 MW de capacidade instalada de geração. Também na figura abaixo podemos observar que a partir de 1960 teve um forte ritmo de crescimento, proveniente da expansão de usinas hidrelétricas para atender ao desenvolvimento econômico da época.

⁴ A Crise de 1929 é identificada ao crash da Bolsa de Valores de Nova York, dando a partida para a grave crise econômica das principais economias capitalistas mundiais ocorrida nos anos trinta.

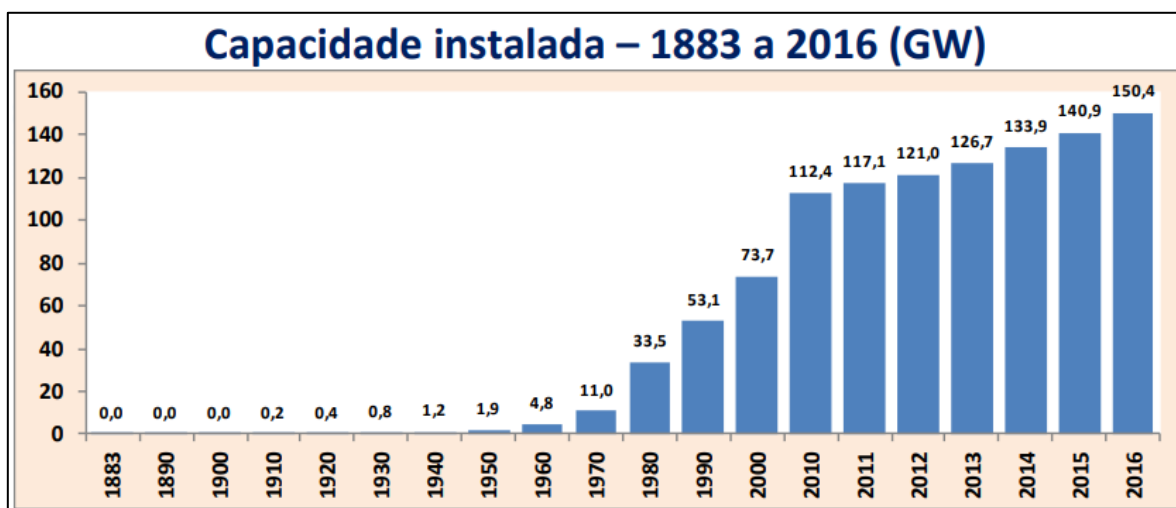


Figura 07: Evolução da Capacidade Instalada no Brasil – Fonte: MME – Maio/2017

De 1970 a 2016, o Brasil passou de 11 GW de capacidade a 150,4 GW, com taxa de crescimento de 5,8% a.a., indicador bem superior ao do PIB do mesmo período, de 3,5% a.a. A participação da hidráulica foi sempre preponderante no período, variando de 87,4% em 1996 (máxima) a 64,5% em 2016 (mínima). A geração nuclear teve início em 1985, e a geração eólica, em 1992.

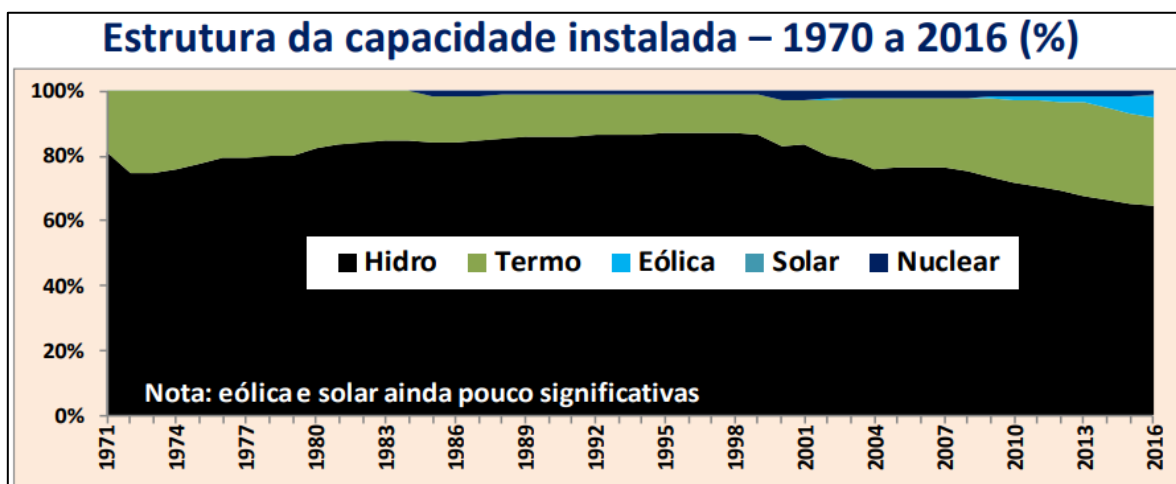


Figura 08: Participação das Fontes na Evolução da Capacidade Instalada – Fonte: MME – Maio/2017

O incremento médio anual da capacidade instalada no Brasil, por período de 10 anos, é mostrado no gráfico a seguir. Observa-se que nas três primeiras décadas, de 70, 80 e 90, os incrementos médios foram próximos de 2.000 MW por ano, com a hidráulica superando em muito as outras formas de energia.

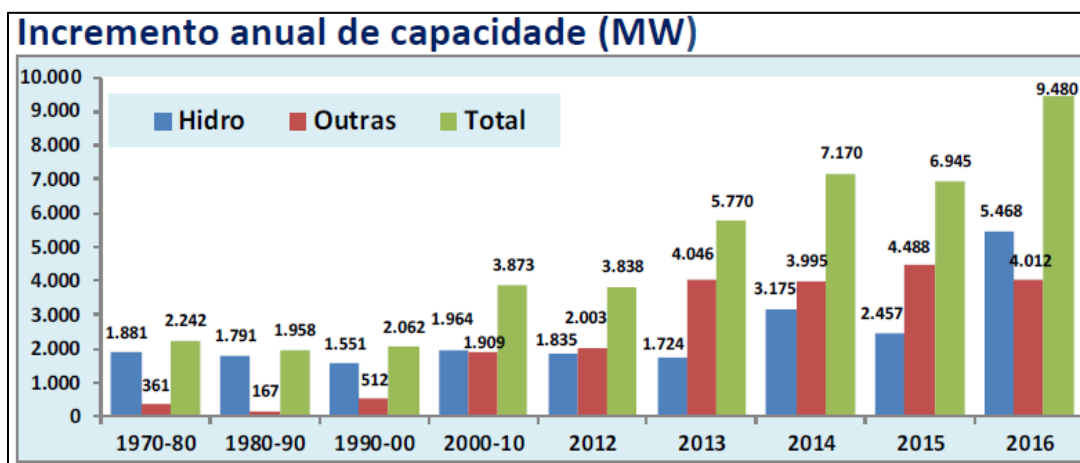
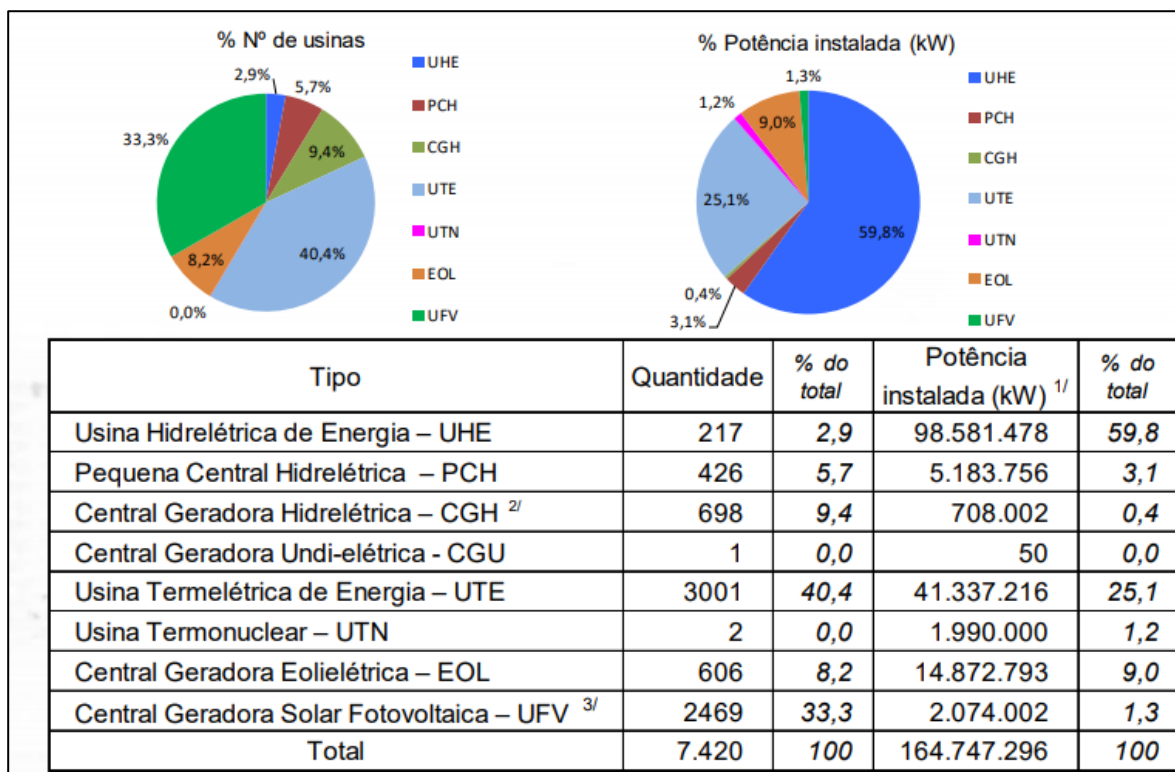


Figura 09: Incremento Médio Anual da Capacidade Instalada – Fonte: MME – Maio/2017

Abaixo temos um retrato da composição atual da matriz elétrica brasileira, já com participação importante das fontes eólica e solar, ultrapassando as duas juntas, 10% da matriz global.



^{1/} Sujeita à fiscalização da ANEEL

^{2/} Potência instalada igual ou inferior a 5.000 kW, conforme Lei n° 13.360/2016.

^{3/} A partir de Junho/2015, foram excluídas as UFV de micro e minigeração dis- tribuída (potência máxima de 1.000 kW, conforme Resolução 482/2012) As posições acima incluem usinas em operação com outorgas regularizadas. Fonte: Banco de Informações de Geração - BIG

Figura 10: Matriz Elétrica Brasileira – Fonte: ANEEL – Março/2019

A seguir faremos uma rápida abordagem aos principais recursos, renováveis, que compõem a matriz elétrica brasileira.

2.4.1. Biomassa:

É fundamental a importância da bioenergia na manutenção da baixa intensidade de carbono da economia brasileira e no desenvolvimento rural. O Brasil é um grande produtor agrícola, de pecuária e florestal, o que o coloca entre os principais atores no cenário internacional da bioenergia.

O segmento sucroalcooleiro é um bom exemplo da importância da bioenergia no país. O desenvolvimento e a disseminação em larga escala do etanol e dos veículos de tecnologia flex fuel propiciaram a instalação de uma indústria capaz de atender às necessidades crescentes de projetos de novas unidades para a expansão da oferta deste biocombustível.

As premissas para delimitação e quantificação das áreas potenciais para expansão foram construídas a partir de restrições legais e diretrizes ambientais, que norteiam a ocupação e o uso do território nacional.

A figura abaixo ilustra a dimensão deste potencial de expansão, considerando as áreas nas cores marrom e verde. Conforme PDE 2027, espera-se um potencial técnico para comercialização, a partir da biomassa, de 6.800 MW médios até 2027.

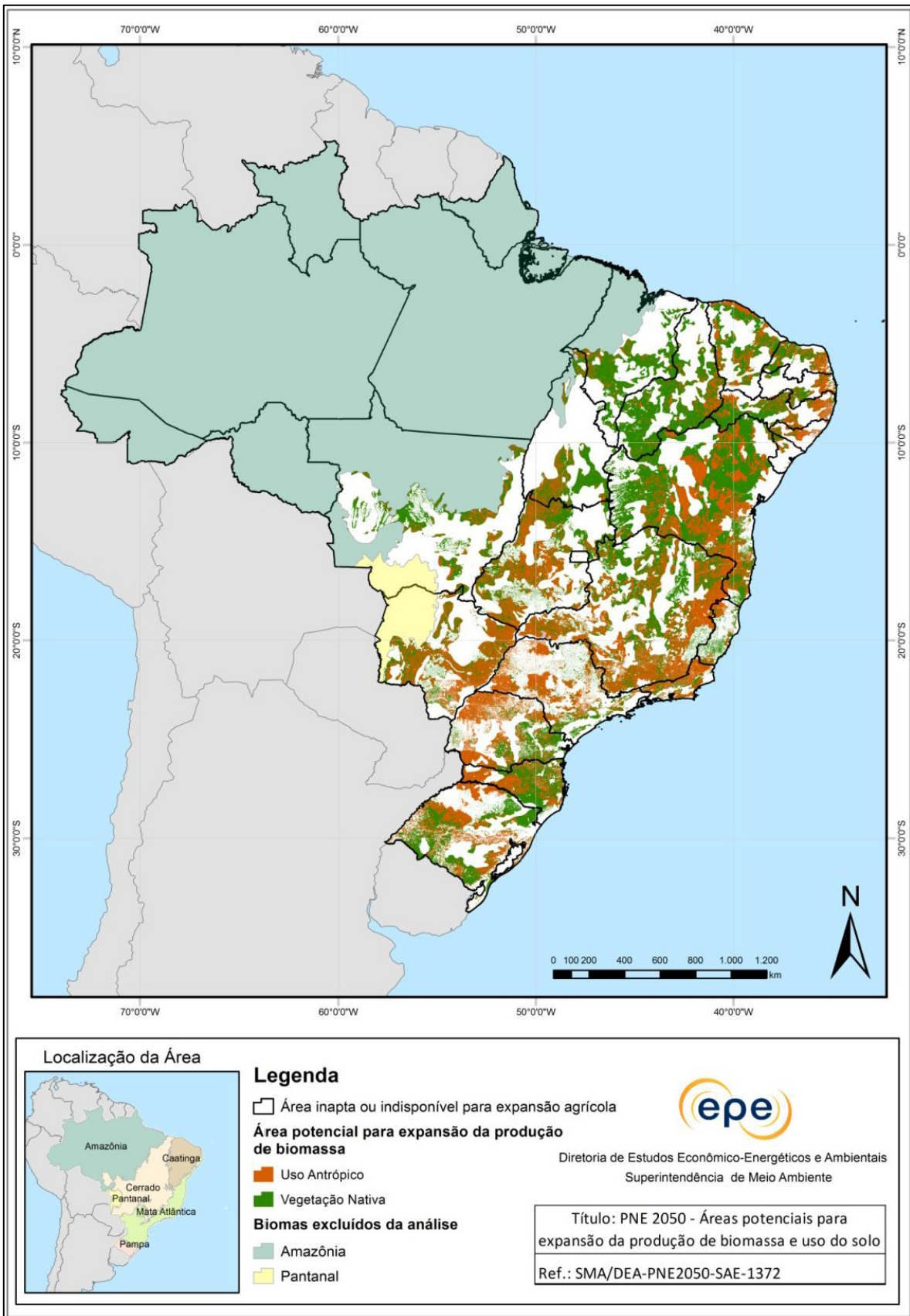


Figura 11: Potencial de Expansão da Biomassa – Fonte: Nota Técnica PR 04/18 – EPE, Setembro/2018

2.4.2. Recursos Hídricos:

Conforme já detalhado no item 2.4 – Matriz Elétrica Brasileira, a hidreletricidade tem sido historicamente a principal fonte de geração do sistema elétrico brasileiro. Esta expressiva participação na matriz elétrica se deve ao grande potencial hidrelétrico do país e às várias vantagens que esta fonte de geração de energia elétrica apresenta com relação às demais. Trata-se de uma fonte de geração renovável, economicamente competitiva, além de apresentar grande flexibilidade operativa, capaz de responder às flutuações de demanda quase instantaneamente.

A expansão da hidreletricidade, contudo, enfrenta desafios relacionados aos impactos socioambientais negativos causados e para projetos hidrelétricos de grande porte, aos elevados custos de investimentos nos anos iniciais de construção. Adicionalmente, os novos aproveitamentos hidrelétricos estão cada vez mais distantes dos grandes centros de consumo, notadamente no caso do Brasil, o que resulta na necessidade de investimentos adicionais em longas linhas de transmissão para escoamento da produção de eletricidade. Se por um lado existem desafios para a implantação de novas usinas hidrelétricas, por outro lado, esta fonte de geração, devido à sua grande capacidade de armazenamento de energia e flexibilidade operativa, pode auxiliar o desenvolvimento de fontes renováveis intermitentes como a energia eólica e solar fotovoltaica: a energia armazenada em seus reservatórios pode ser usada em horas do dia, na ausência de ventos e/ou irradiação solar, aumentando a confiabilidade do suprimento de energia.

Abaixo temos um resumo do potencial hidrelétrico, reafirmando a tendência de que estamos aproximando do limite de exploração deste recurso, uma vez que dos 52GW disponíveis para UHE's, em torno de 40GW apresenta interferência com áreas protegidas. Os 23% do potencial que não interferem em áreas legalmente protegidas correspondem a 98 aproveitamentos, que somam 12 GW de capacidade e incluem os 5,7 GW indicados no PDE 2026. Desse grupo, a grande maioria (cerca de 90%) é de aproveitamentos de médio porte, com até 150 MW, sendo apenas um acima de 800 MW.

<i>Etapa</i>	<i>UHEs</i> (GW)	<i>Projetos < 30</i> <i>MW</i> (GW)	<i>Total</i> (GW)	<i>Participação</i> (%)
<i>Operação e construção⁽¹⁾</i>	102	6	108	62%
<i>Potencial hidrelétrico inventariado⁽²⁾</i>	52	16	68	38%
<i>Potencial hidrelétrico brasileiro</i>	154	22	176	100%

Notas: (1) Considera apenas 50% da potência de Itaipu (usina binacional). (2) Do total de 52 GW de potencial das UHEs, cerca de 12 GW não apresentam interferência em áreas protegidas (Unidades de Conservação, Terras Indígenas e Territórios Quilombolas).

Figura 12: Potencial Hidrelétrico – Fonte: Fonte: Nota Técnica PR 04/18 – EPE, Setembro/2018

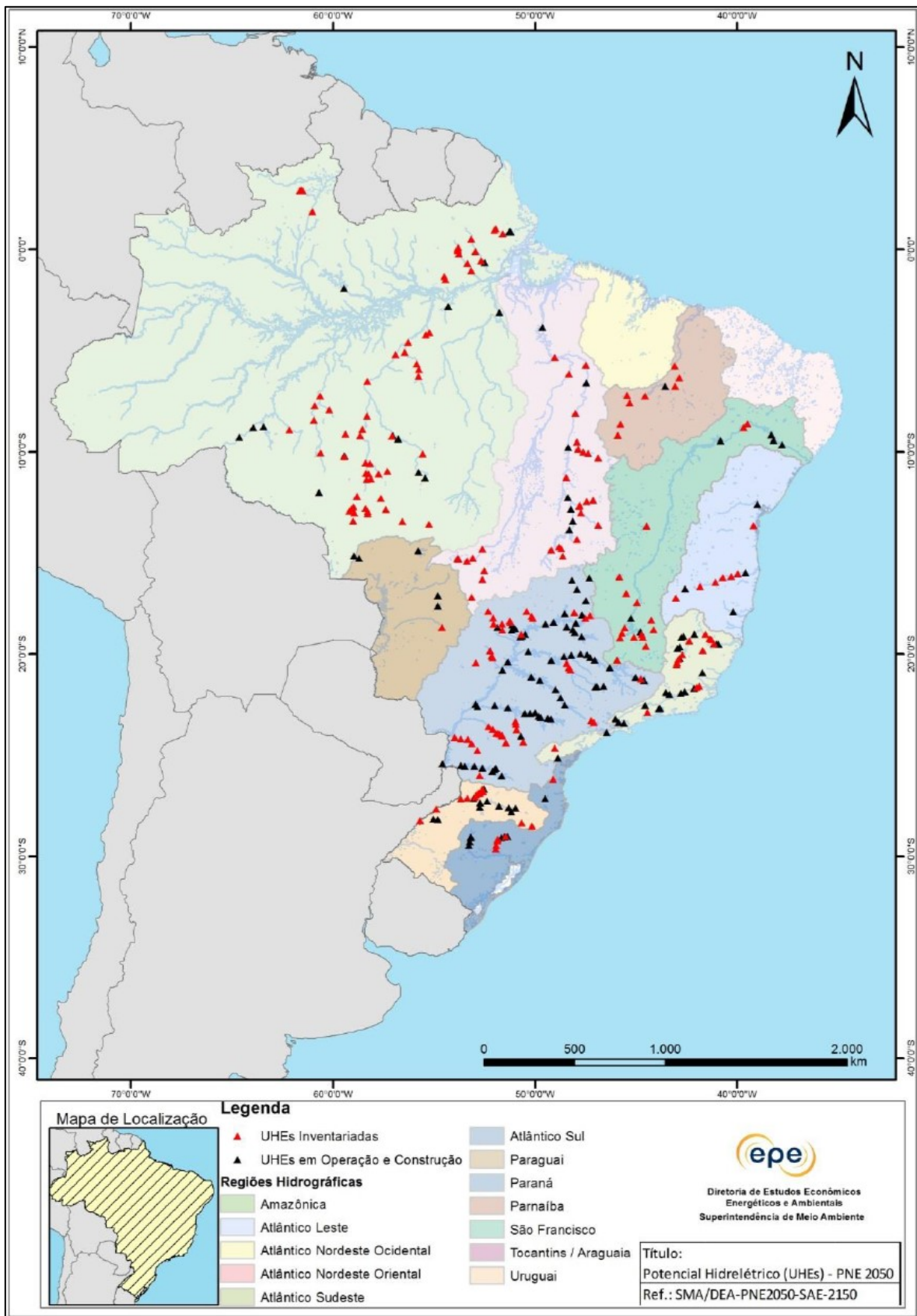


Figura 13: Mapa do Potencial Hidrelétrico – Fonte: Nota Técnica PR 04/18 – EPE, Setembro/2018

Um outro aspecto relevante na expansão do sistema elétrico brasileiro é o benefício dos reservatórios de acumulação que cria robustez à operação do sistema elétrico, representado por sua capacidade de armazenar grandes quantidades de água/energia para uso futuro. Este aspecto permite o aumento significativo da participação de fontes de geração renováveis, mas não despacháveis, como a energia eólica e a solar fotovoltaica, criando uma condição de complementariedade e maior flexibilidade operativa do sistema. (EPE, 2018)

Neste contexto, reservatórios de acumulação podem beneficiar não apenas a geração hidrelétrica, mitigando a variabilidade e incertezas hidrológicas, mas também a geração eólica e solar fotovoltaica, que são variáveis ao longo do dia, aumentando a confiabilidade de atendimento à demanda.

Se por um lado os reservatórios de acumulação em princípio podem resultar em impactos socioambientais negativos mais expressivos, por outro lado, permitem, com elevada eficiência, a maior penetração de fontes renováveis intermitentes. Atualmente, os impactos negativos dos reservatórios são contabilizados unicamente aos empreendimentos hidrelétricos, não sendo compartilhados pelas demais fontes que se beneficiam do armazenamento para sua regularização energética.

Abaixo é apresentado um exemplo clássico da importância de se ter um sistema elétrico com determinada inércia. As hidrelétricas fazem o papel de “pulmão” de energia, permitindo variações bruscas de carga, o que certamente encontraria limitações se fosse um sistema com predominância de fontes intermitentes, não despacháveis.

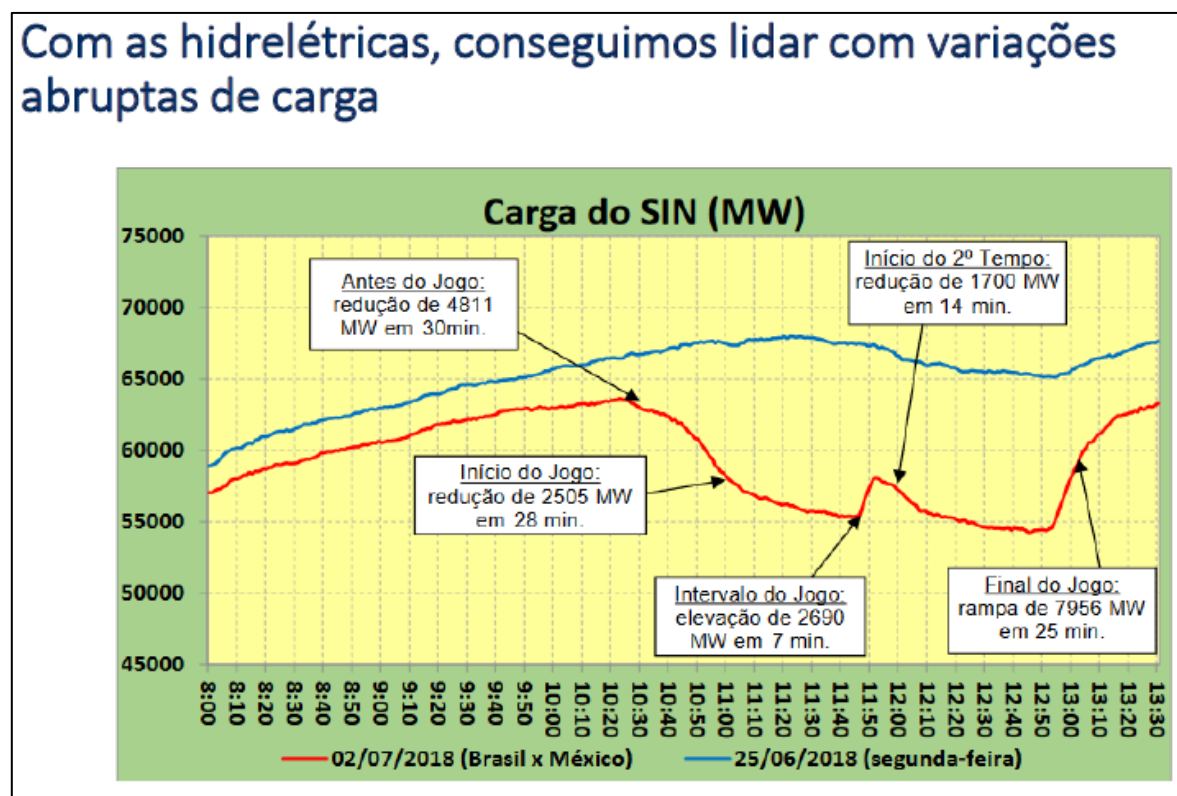


Figura 14: Comportamento da Carga no SIN – Fonte: KOZEN, 2018

2.4.3. Recurso Eólico:

Também como no caso do recurso hídrico, o Brasil apresenta um grande potencial do recurso eólico. Abaixo temos um mapeamento do potencial brasileiro eólico onshore, incluindo os parques já em operação.

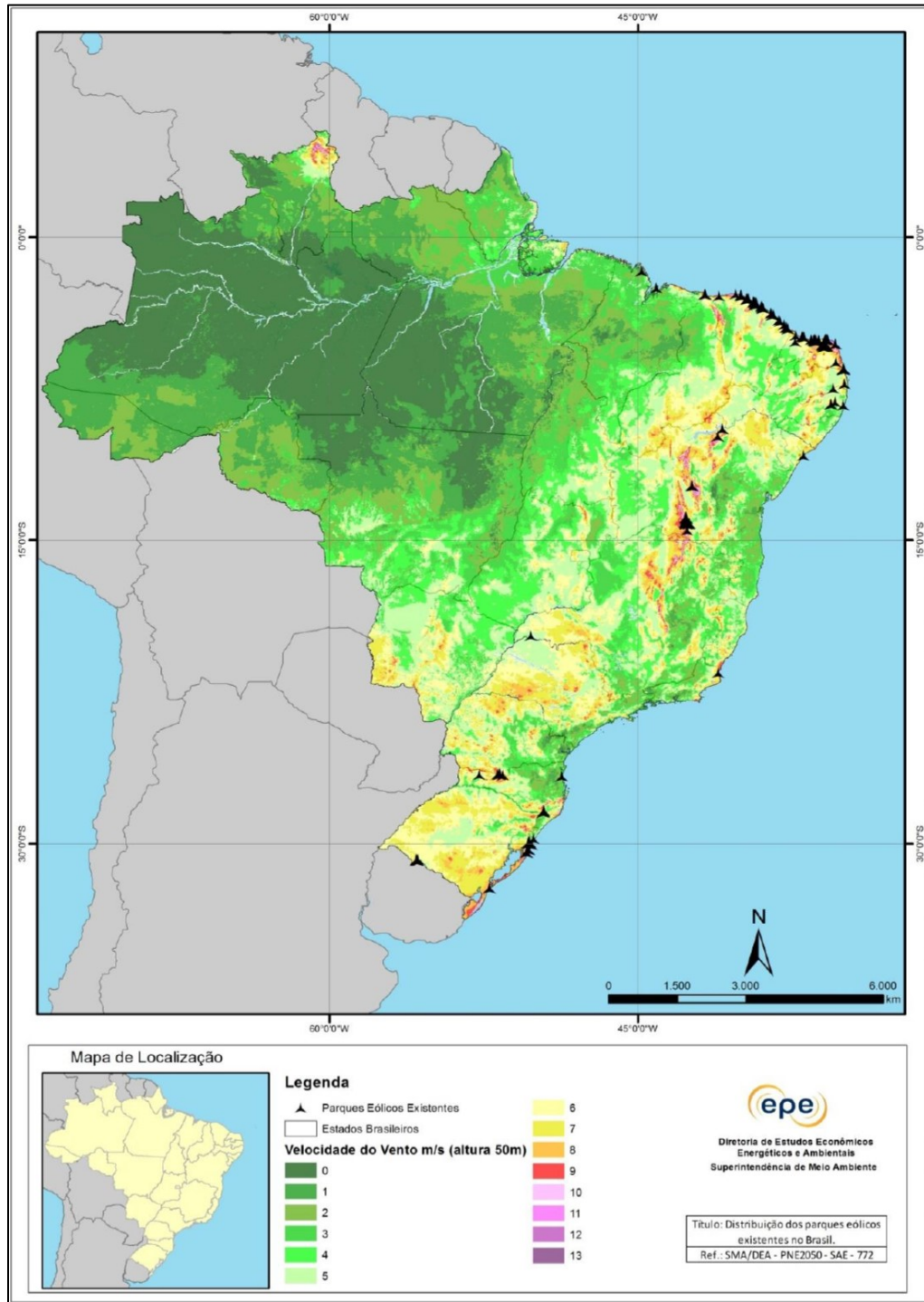


Figura 15: Mapa do Potencial Eólico – Fonte: Nota Técnica PR 04/18 – EPE, Setembro/2018

A projeção do nosso potencial (ainda com projeções conservadoras, limitado a torres de 50m e ventos médios superiores a 7m/s) chegamos a 143GW. (EPE, 2018) Se extrapolarmos para novas tecnologias incluindo torres até 150 m o potencial avança exponencialmente, conforme tabela abaixo:

Altura	75m (*80m,**70m)		100 m		150 m	
	Potência Instalável (MW)	Energia Anual (GWh)	Potência Instalável (MW)	Energia Anual (GWh)	Potência Instalável (MW)	Energia Anual (GWh)
Estados Potencial (>7m/s)						
Alagoas ²⁰⁰⁸	336	822	649	1.340	n.d.	n.d.
Bahia ²⁰¹³	38.600*	150.400*	70.100	273.500	195.200	766.500
Ceará ²⁰⁰⁰	24.900**	51.900**	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Espírito Santo ²⁰⁰⁹	448	1.073	1.143	2.397	n.d.	n.d.
Minas Gerais ²⁰¹⁰	24.742	57.812	39.043	92.076	n.d.	n.d.
Paraná ²⁰⁰⁷	1.363	3.756	3.375	9.386	n.d.	n.d.
Rio de Janeiro ²⁰⁰²	1.524	4.835	2.813	8.872	n.d.	n.d.
Rio Grande do Norte ²⁰⁰³	19.431	55.901	27.080	69.293	n.d.	n.d.
Rio Grande do Sul ²⁰¹⁴	n.d.	n.d.	102.800	382.000	245.300	911.000
São Paulo ²⁰¹²	15	48	564	1.753	n.d.	n.d.
Total dos Atlas	111.023	325.725	246.918	839.277	440.500	1.677.500

Figura 16: Projeção do Potencial Eólico – Fonte: Nota Técnica PR 04/18 – EPE, Setembro/2018

Em complemento temos ainda o potencial eólico offshore (ainda não explorado), que parte de 57GW e pode chegar a 1.780GW, a depender da distância da costa.

De volta às condições reais da nossa matriz, temos a fonte eólica como uma das fontes que mais cresceu na última década, ocupando hoje o 3º lugar da matriz elétrica brasileira. Abaixo podemos verificar a distribuição da potência instalada por estado e também a evolução da fonte.

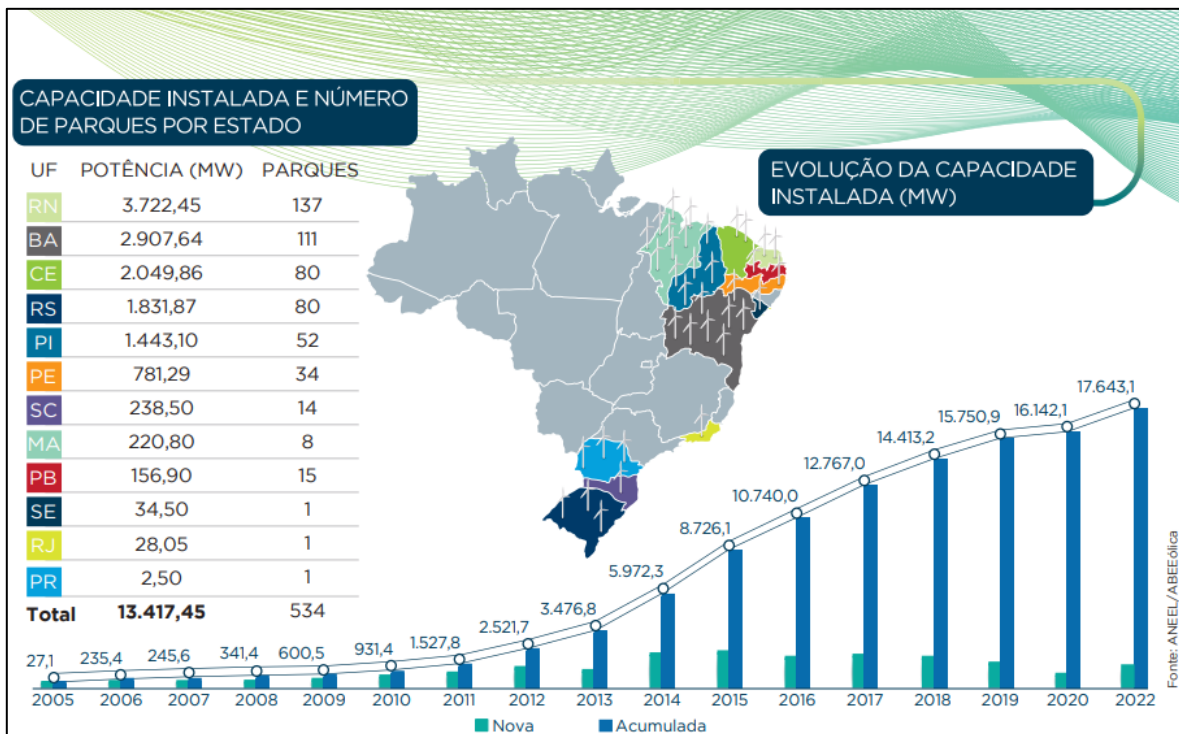


Figura 17: Evolução/Projeção da Capacidade Instalada Eólica – Fonte: ABEEólica

2.4.4. Recurso Solar:

O Brasil está situado quase que totalmente na região limitada pelos Trópicos de Câncer e de Capricórnio, de incidência mais vertical dos raios solares. Esta condição propicia elevados índices de incidência da radiação solar em quase todo o território nacional, inclusive durante o inverno, o que confere ao país condições vantajosas para o aproveitamento energético do recurso solar.

A Figura abaixo apresenta os dados brasileiros de irradiação global no plano inclinado, adequado às aplicações fotovoltaicas e de aquecimento.

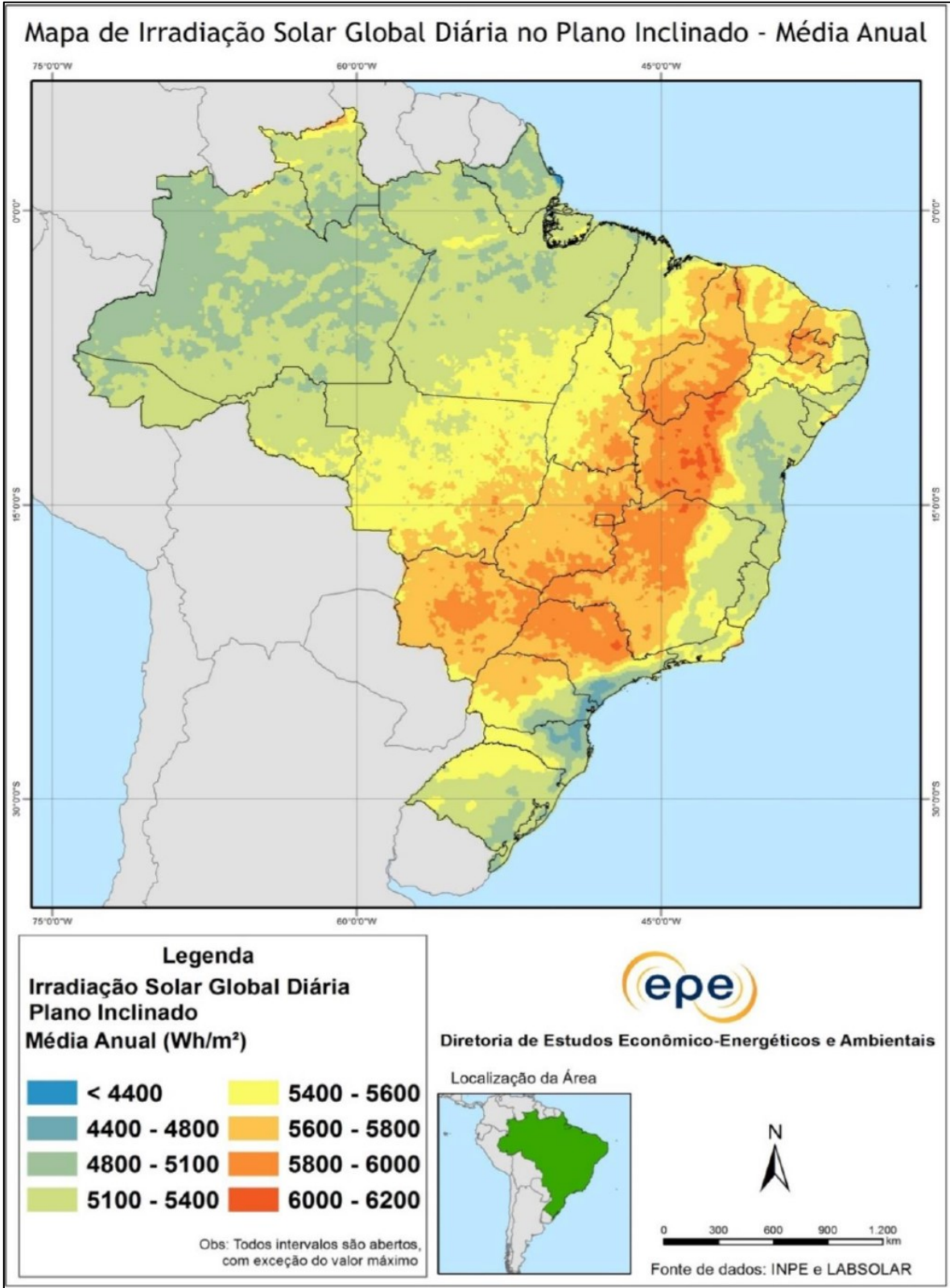


Figura 18: Mapa de Irradiação Solar – Fonte: Nota Técnica PR 04/18 – EPE, Setembro/2018

Dadas as condições favoráveis de irradiação solar, é natural que a instalação de plantas fotovoltaicas e heliotérmicas aconteça inicialmente nessas regiões, nas quais pode ser obtido um fator de capacidade mais elevado. No entanto, considerando que a faixa de variação da irradiação global horizontal anual do Brasil seja de 1.500 a 2.200 kWh/m², praticamente todo território brasileiro é elegível à expansão do aproveitamento deste recurso.

Diante das condições favoráveis do recurso solar e a globalização das tecnologias, o Brasil começa ter participação considerável da fonte solar. O histórico abaixo e a projeção de atingir mais de 20GW de capacidade instalada em 2040 (WEO/IEA, 2018), também indicam forte tendência de se intensificar.

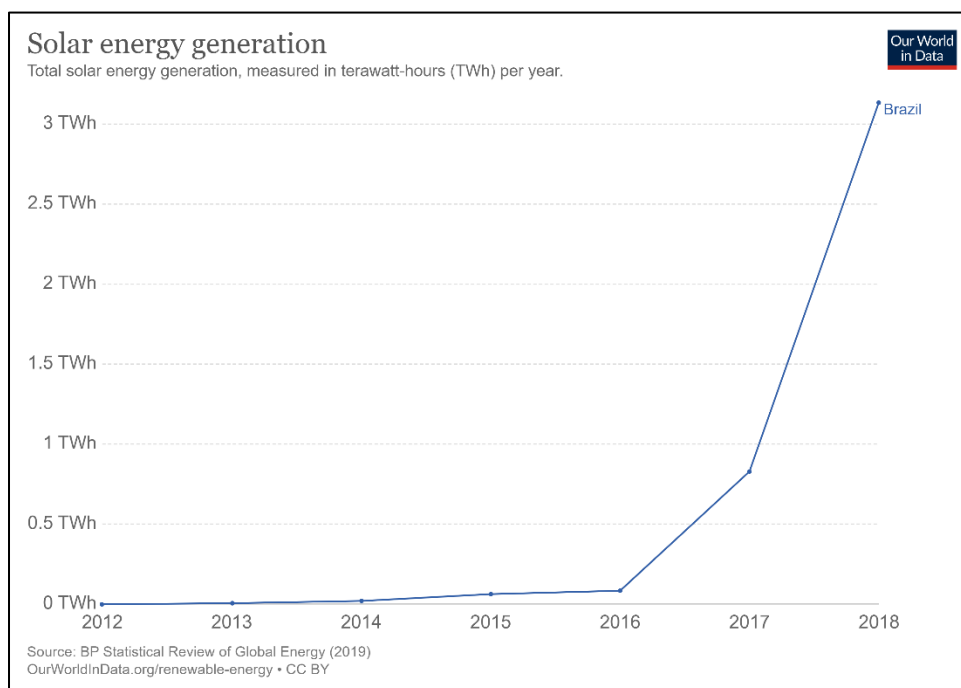


Figura 19: Geração de Energia Solar Brasil – Fonte: RITCHIE e ROSER (2019)

3. TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

3.1. Introdução

Dentre as “forças” existentes no processo de mudanças que estamos vivendo, uma das principais vertentes é a consciência por parte das pessoas e também dos governos diante da constatação de haver elevados impactos ao meio ambiente. Há consenso na comunidade científica internacional de que a principal causa do atual aquecimento global é justamente o uso crescente de combustíveis fósseis e, portanto, a humanidade se vê diante de uma transição energética realizada muito mais por necessidade do que por conta de alguma descoberta científica ou avanço tecnológico.

Tomemos como exemplo as duas fontes energéticas renováveis que apresentam maior crescimento na matriz energética mundial na atualidade, a energia solar e a eólica. O efeito fotoelétrico, princípio fundamental das células fotoelétricas já é bem conhecido desde o fim do século XIX, com relação ao uso da energia eólica, esta já era usada para fazer girar moinhos há séculos. Os grandes avanços no uso dessas energias se deram principalmente com relação ao seu custo, tornando essas fontes competitivas quando comparadas aos energéticos tradicionais.

A necessidade de reduzir o uso dos combustíveis fósseis somada ao desenvolvimento e barateamento de fontes renováveis e com menos impactos ao meio ambiente precisa levar o planeta, claro que em ritmos diferenciados a depender do país, a transitar de uma matriz energética não renovável e poluente a outra, renovável e mais amigável ao meio ambiente.

No entanto, a transição energética passa por um caminho de alta complexidade, interesses econômicos distintos, possibilitando diversas decisões de cada nação.

3.2. Desafios e Trajetória da Transição Energética Mundial

A seguir apresentamos a dimensão do desafio, que na verdade podemos considerar um duplo desafio. De um lado temos que reduzir de forma intensa a emissão de CO₂ e ao mesmo tempo, garantir o suprimento de mais energia para o consumo que certamente irá aumentar.

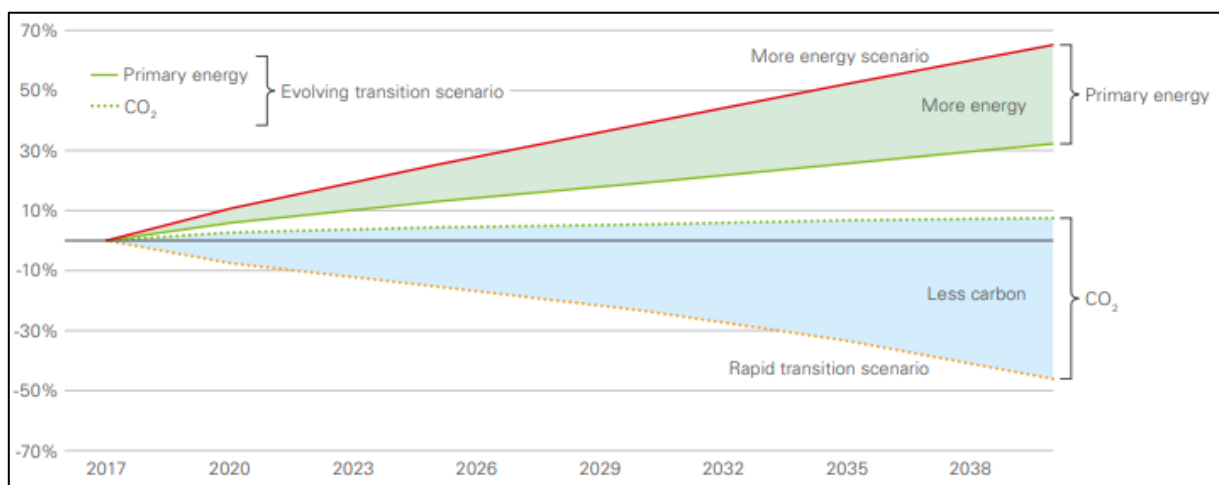


Figura 20: Desafio Global da Transição Energética – Fonte: BP Energy Outlook 2019 edition

O caminho rumo à sustentabilidade energética não tem sido feito, entretanto, sem percalços. Entre o ideal de uma economia eficiente e descarbonizada e a realidade dependente dos combustíveis fósseis há um longo e tortuoso caminho pelo qual algumas nações podem passar de maneira mais tranquila que outras.

Apesar do grande esforço rumo à descarbonização, ou seja, à substituição dos combustíveis fósseis por energias renováveis, os resultados globais têm sido tímidos. A figura abaixo mostra que existe uma relação muito forte entre crescimento do PIB (Produto Interno Bruto) dos países e a emissão de CO₂ na atmosfera e consequentemente a utilização de combustíveis fósseis.

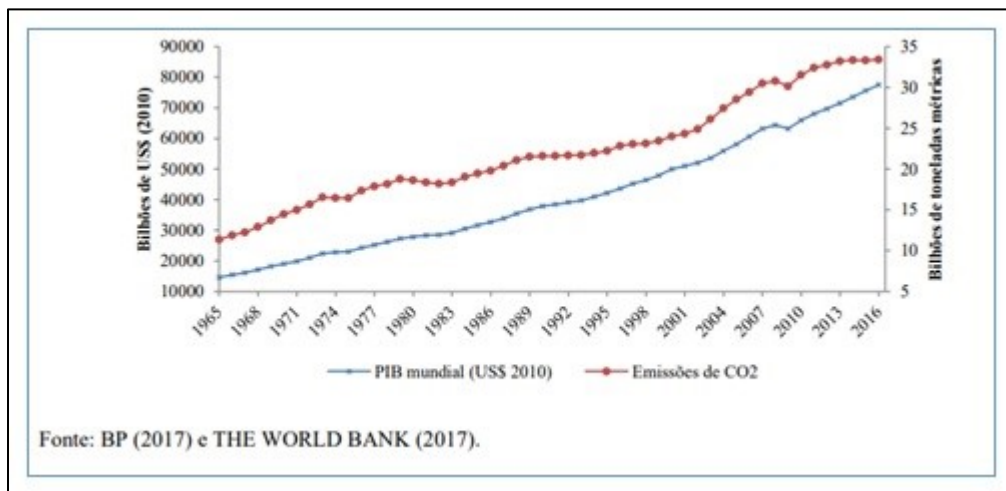


Figura 21: Relação PIB versus Emissão CO₂ – Fonte: BP Energy Outlook 2017 edition

Outra visão também não tão divulgada é que o impacto verdadeiramente importante são as emissões acumuladas de CO₂ na atmosfera. A duração do CO₂ emitido na atmosfera é de alguns séculos, e cerca de 25% dessas emissões tem duração de dezenas ou centenas de milênios (ARCHER, 2010). A figura 16 abaixo mostra os cinco países que mais emitiram CO₂ até 2017 e também o Brasil com uma posição mais favorável. É importante observar os Estados Unidos, que já atingiram 400 bilhões de toneladas de CO₂ na atmosfera, o dobro da gigante chinesa. Esta “supremacia” com relação à emissão coincide também com o poder econômico destas nações, e portanto temos aí interesses que podem divergir de metas globalmente definidas.

Na realidade os fenômenos mais notáveis até agora têm sido a gradual substituição do carvão e do petróleo pelo gás natural, como pode ser visto no gráfico abaixo. Ademais, se é verdade que em alguns países verificou-se certa diminuição da emissão de CO₂ nos últimos anos, como por exemplo EUA, Reino Unido e Alemanha, essa redução se deveu muito mais ao deslocamento de indústrias intensivas em energia, como a do aço e do alumínio, para outras partes do globo, ou seja, as sociedades desses países continuam demandando a geração da mesma quantidade de CO₂, só que dessa vez fora de suas fronteiras.

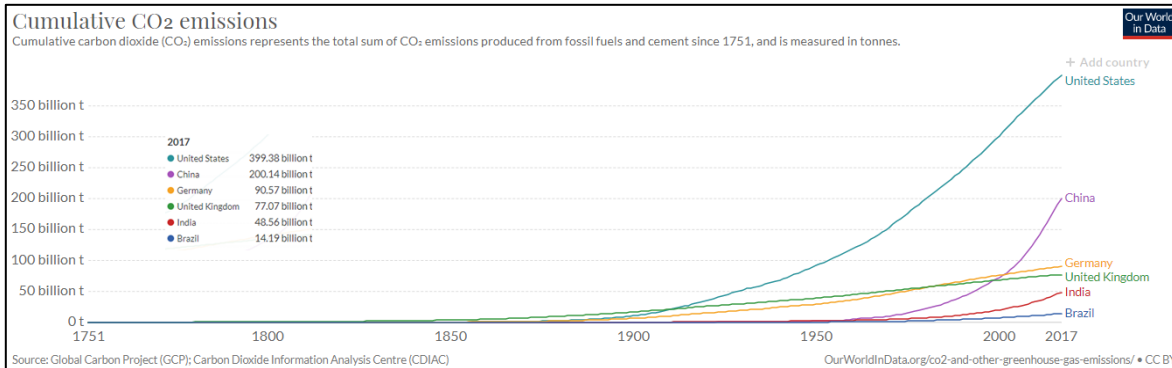


Figura 22: Emissões acumuladas de CO₂ (Estados Unidos, China, Alemanha, Inglaterra, Índia e Brasil) – Fonte: RITCHIE e ROSER (2019)

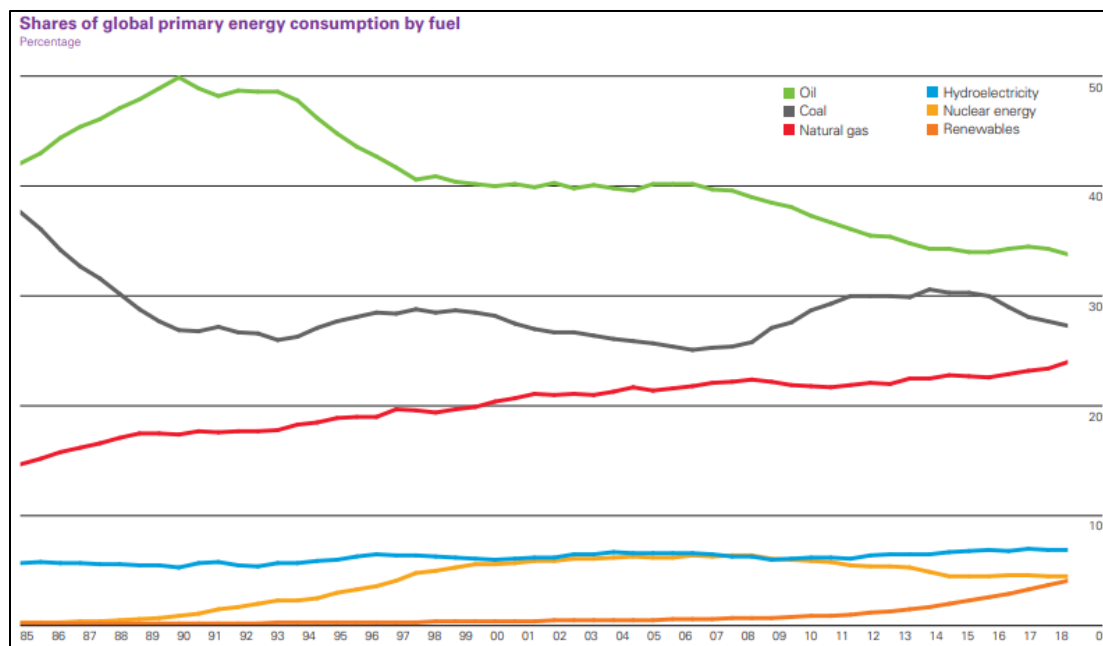


Figura 23: Consumo de Energia Mundial por Fonte – Fonte: BP Energy Outlook 2019 edition

Tradicionalmente, as políticas energéticas têm como objetivos principais a busca por segurança do abastecimento, o acesso à energia a preços módicos e a produção e o uso da energia de forma ambientalmente adequada. Como frequentemente esses objetivos se contrapõem, o universo de possibilidades para políticas energéticas se restringe. Para um cenário que atenda aos objetivos do clima, políticas serão convergentes à transição energética de baixo carbono se priorizarem quatro tipos de estratégias de desenvolvimento energético: i) energo-expansiva: com expansão de fontes de baixo carbono; ii) energo-reprodutiva: com a manutenção de fontes existentes com baixas emissões; iii) energo-substitutiva: com a substituição de fontes de elevada emissão; e iv) energo-poupadora: com produção e consumo mais eficientes e/ou pela conservação de energia (TAVARES,

2019). A Agência Internacional de Energia (International Energy Agency – IEA) estima que essas vias seriam responsáveis por até 82% da redução de emissões necessárias para atender aos objetivos climáticos no cenário de desenvolvimento sustentável (IEA, 2018a), e o restante dependerá de importantes avanços tecnológicos na área de energia – por exemplo, captura e estocagem de carbono (CCS) e tecnologia nuclear. Portanto, as estratégias para uma transição energética de baixo carbono se associariam a essas vias, mas nunca perdendo de vista os objetivos tradicionais de segurança, acesso e sustentabilidade. Entre este universo mais restrito de políticas, as opções disponíveis para cada país irão depender de seus recursos não apenas físicos, mas políticos, econômicos e sociais.

Ainda assim, mesmo havendo percalços e dificuldades diversas, o fato é que temos necessidade e condições para intensificar a transição energética. O gráfico abaixo nos ajuda evidenciar este cenário, onde temos um forte crescimento de fontes renováveis, como um dos pilares para permitir esta migração energética de baixa emissão de CO₂.

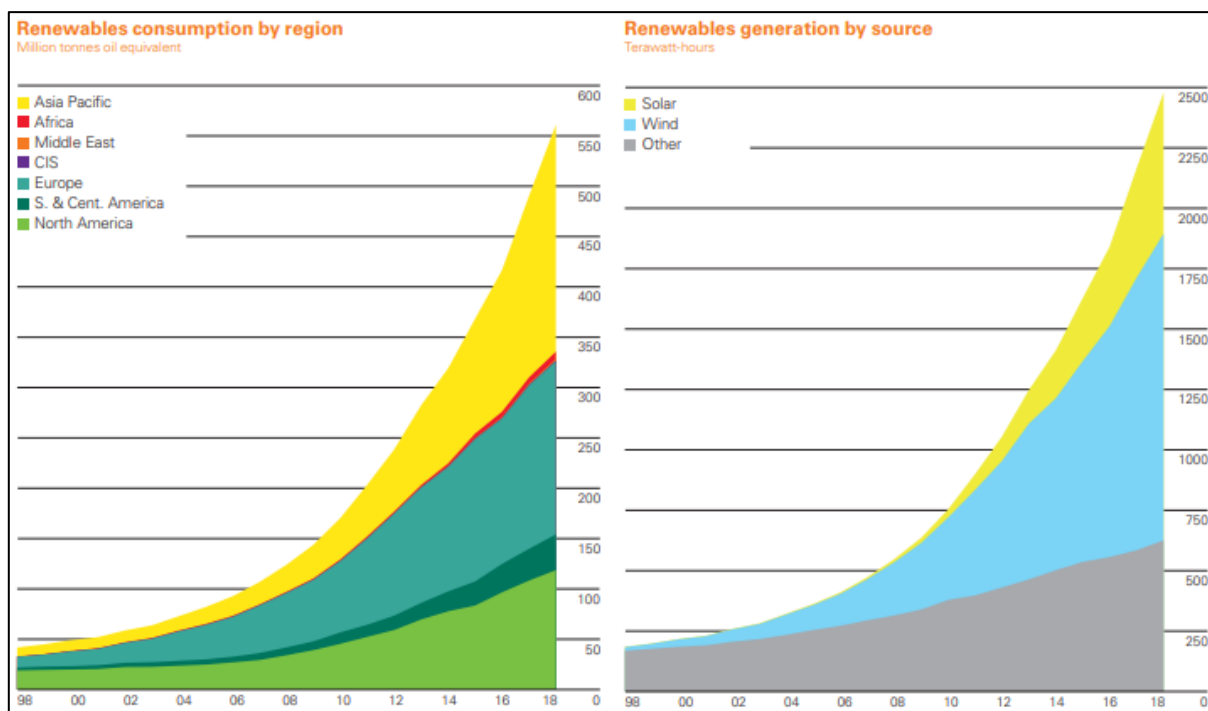


Figura 24: Consumo de Energia Renováveis por Região – Fonte: BP Energy Outlook 2019 edition

3.3. Transição Energética no Brasil

3.3.1. Visão Geral

Como ponto de partida da transição energética no Brasil, trazemos na figura abaixo a projeção da nossa matriz em 2040, com perspectivas de fortalecimento da participação de novas fontes renováveis. (WEO/IEA, 2018)

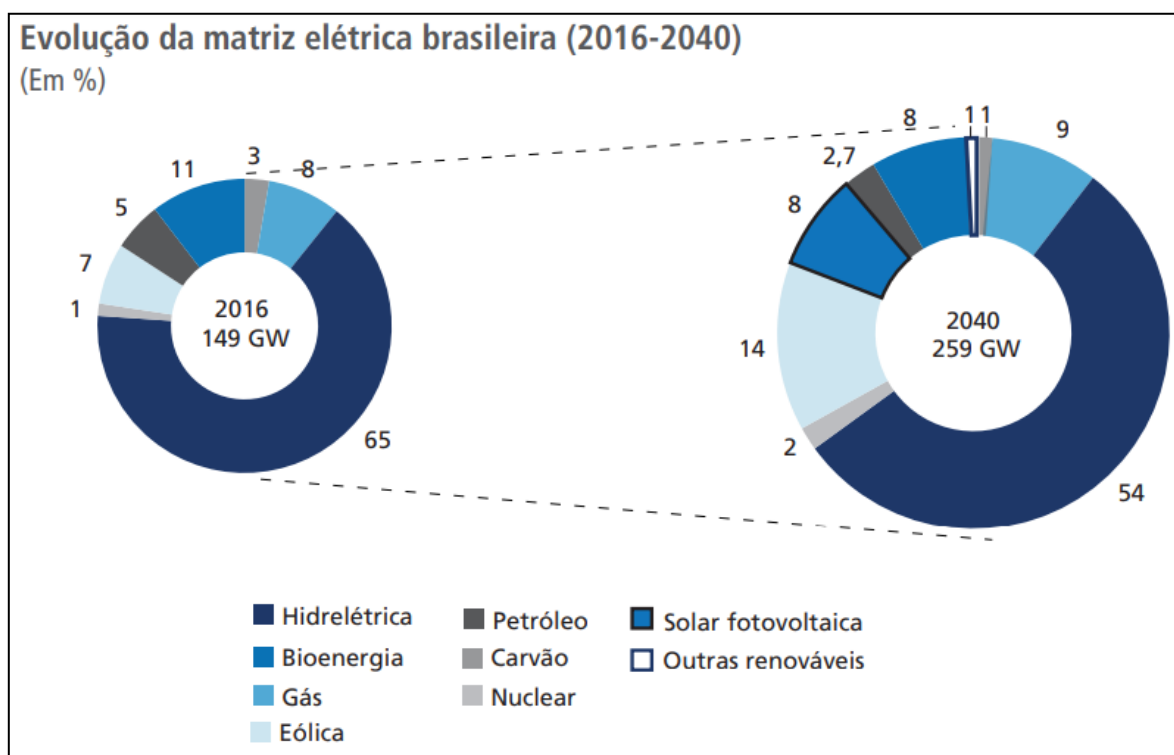


Figura 25: Projeção da Matriz Elétrica Brasileira – Fonte: WEO/IEA, 2018.

Considerando o parâmetro principal da transição energética a descarbonização e ampliação da participação de fontes renováveis, o Brasil se encontra em posição de destaque. Temos literalmente um salto na projeção da participação das fontes eólica, saindo de 7% em 2016 e atingindo 14% em 2040, e solar, saindo de praticamente 0% e atingindo 8%. Já na área de renováveis utilizando os recursos hídricos, temos que as dimensões continentais, os grandes e caudalosos rios de planalto e regimes hidrológicos diversificados no território deram ao Brasil as condições ideais para tornar-se um dos maiores produtores de hidroeletricidade do mundo. Temos potencial energético para ser simultaneamente um farol para orientar a descarbonização mundial e também atacar os problemas socioeconômicos que afligem grande parte do território brasileiro.

Outra fonte importante para projeção da matriz brasileira é a EPE, através do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE, 2027).

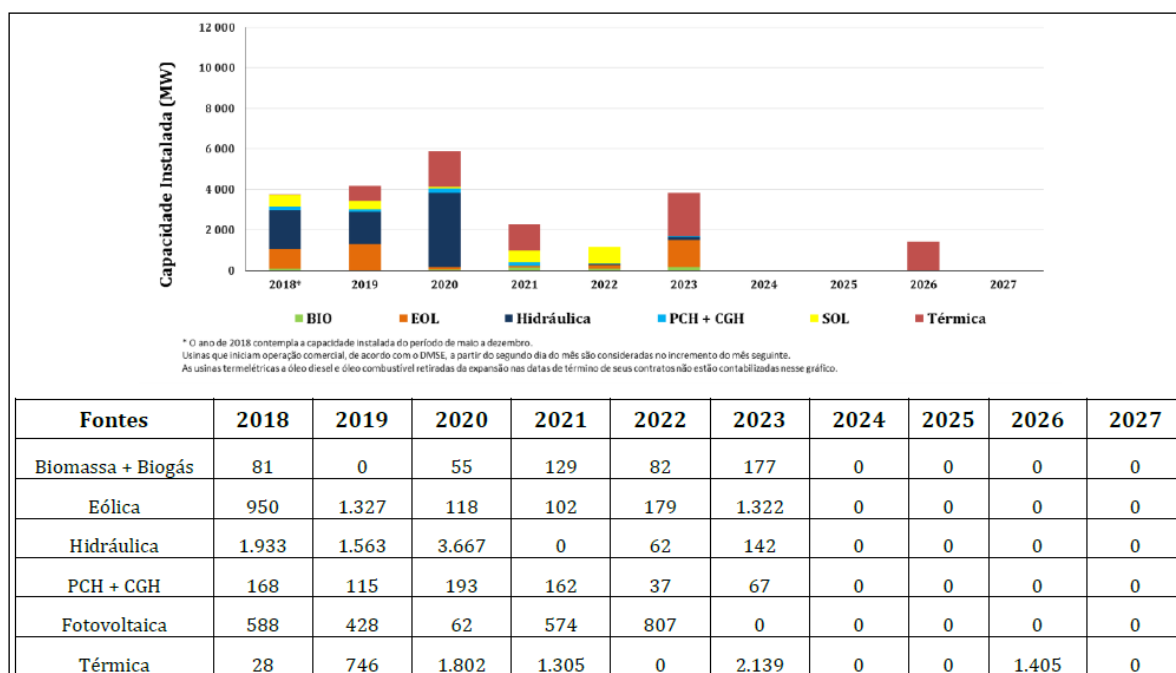


Figura 26: Expansão contratada até 2018 – Incremento anual – Fonte: EPE, PDE/2027

O Gráfico acima mostra a expansão já contratada e abaixo a projeção de expansão. Dos mais de 22GW já contratados e 112GW projetados, mais de 77GW são de fontes renováveis.

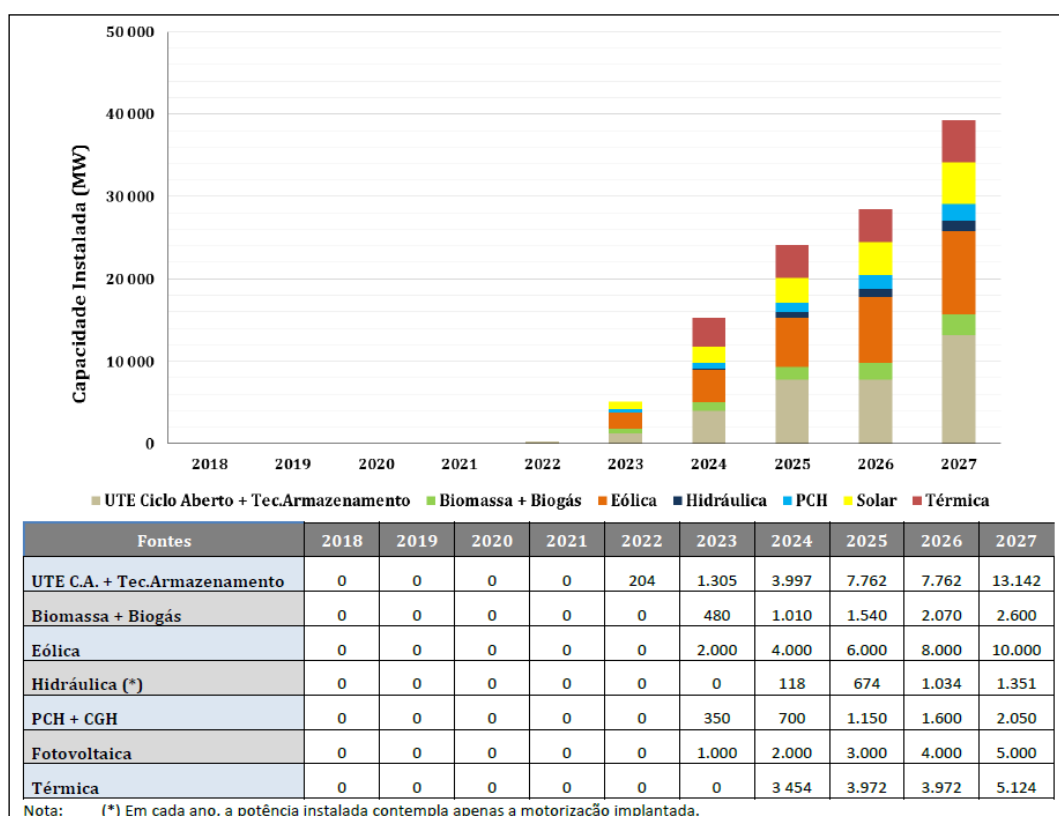


Figura 27: Expansão projetada até 2027 – Incremento anual – Fonte: EPE, PDE/2027

A figura abaixo mostra a posição de destaque do Brasil diante do restante do mundo. Estamos falando de uma condição de matriz elétrica mais de 3 vezes “renovável” se comparada com a média dos demais países.

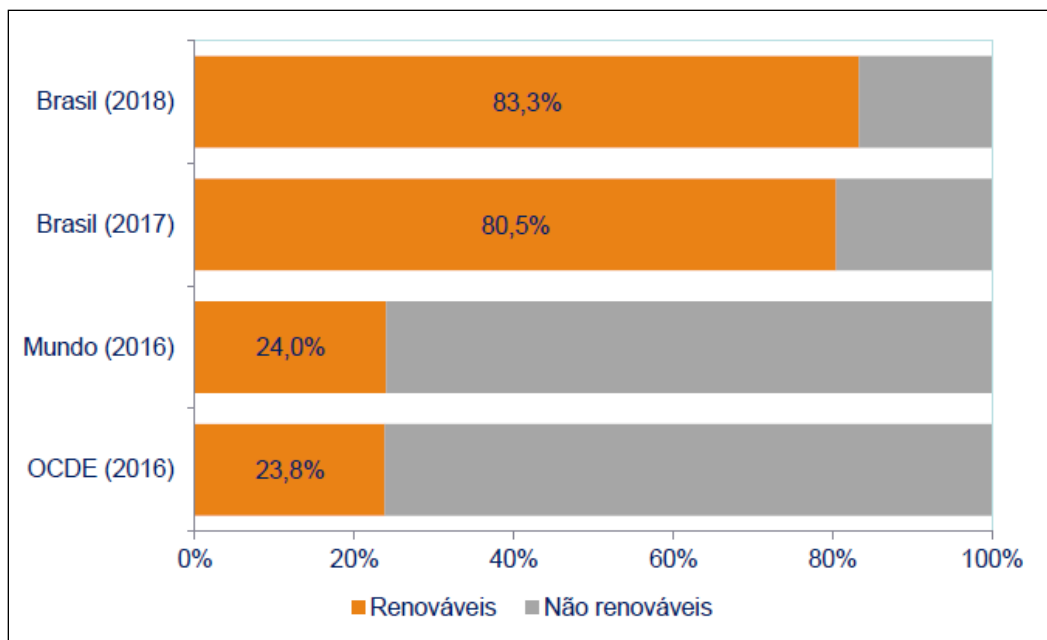


Figura 28: Matriz Elétrica Brasil x Mundo – Fonte: BEN, Relatório Síntese, Maio/2019

Desde o início da eletrificação do país a hidroeletricidade teve papel central e a escassez de reservas de hidrocarbonetos (até meados da primeira década do século XXI o Brasil não era autossuficiente em petróleo e o carvão brasileiro é considerado de baixa qualidade), os choques do petróleo no século XX incentivaram o país ainda mais a investir no aproveitamento de seu potencial hidrelétrico e até mesmo em programas de biocombustíveis.

A preponderância da hidroeletricidade na matriz elétrica brasileira era tão grande que em 2009, 84% da energia elétrica produzida no Brasil foi de origem hidrelétrica, 16% térmica e 0,9% eólica, fazendo do Brasil um dos países com a matriz elétrica mais limpa e renovável do mundo. Em 2018 a hidroeletricidade representou 65% da energia consumida no país, e a soma de energia eólica e solar saltou para 9,0%, já a participação das térmicas saltou para 27%. É preciso considerar que no Brasil a irregularidade do regime de chuvas faz com que os números da matriz elétrica sofram variações importantes ano a ano, mas há claramente uma tendência de diminuição da participação da hidroeletricidade na matriz elétrica brasileira, ao mesmo tempo em que ganha relevância a geração eólica e mesmo a solar e térmica. Além disso, parte significativa da geração termoelétrica ainda é proveniente de fonte nuclear (2,5%) ou biomassa (8,5%).

Em termos de emissões por habitante, conforme BEN 2019 (Balanço Energético de 2019 publicado pela EPE), cada brasileiro, produzindo e consumindo energia em 2018, emitiu em média 2,0t CO₂-eq, ou seja, cerca de 7,5 vezes menos do que um americano e 3 vezes menos do que emite um europeu ou um chinês de acordo com os últimos dados divulgados pela Agência Internacional de Energia (IEA em inglês) para o ano de 2016.

O setor elétrico brasileiro emitiu, também conforme dados do BEN 2019, em média, apenas 88,0 kgCO₂ para produzir 1MWh, um índice muito baixo quando se estabelece comparações com países da União Europeia, EUA e China.

Outro reflexo interessante na transição energética, é que além da redução das emissões de CO₂, com o recuo da participação das térmicas em nossa matriz, temos também ganhos com a redução das perdas energéticas (que inclui transformação, distribuição e armazenagem). Os dois gráficos abaixo mostram este benefício a partir de 2015, sendo o primeiro com a redução da participação das Térmicas e o segundo com a relação direta entre térmicas e perdas no sistemas.

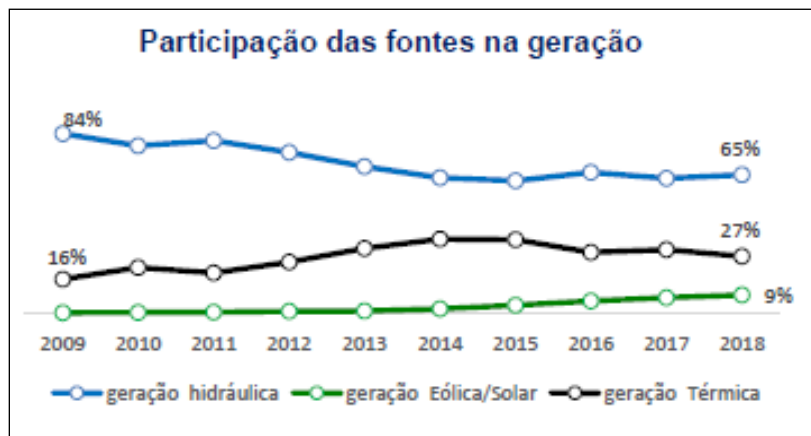


Figura 29: Redução da Participação na Matriz Brasileira da Fonte Térmica – Fonte: BEN, Relatório Síntese, Maio/2019

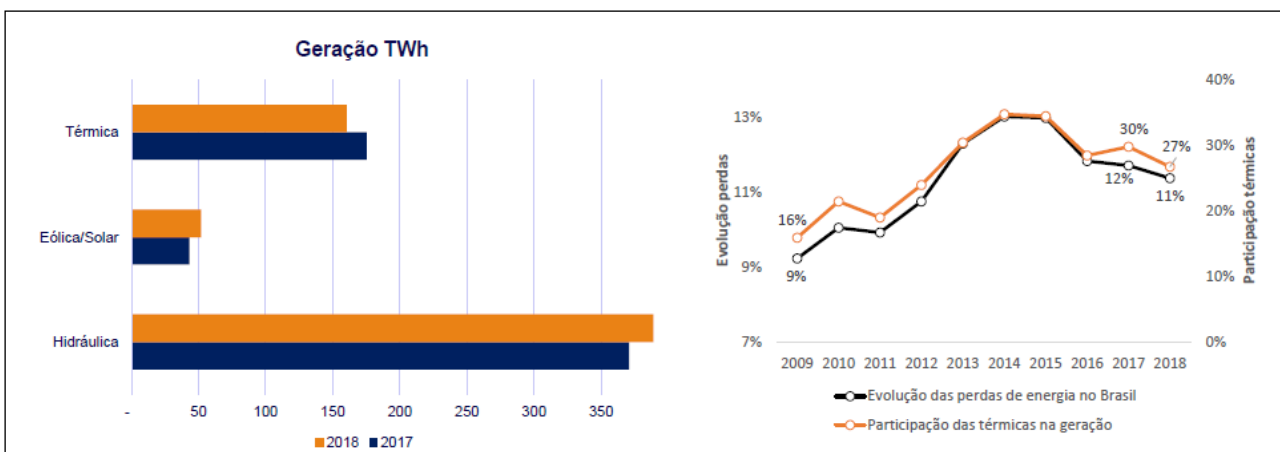


Figura 30: Relação das Perdas Energéticas x Fonte Térmica – Fonte: BEN, Relatório Síntese, Maio/2019

3.3.2. Compromissos com a Transição Energética

No Acordo de Paris, a contribuição brasileira para mitigação foi uma meta de reduzir, relativamente aos níveis de 2005, em 37% suas emissões de gases de efeito estufa até 2025 e, 43% até 2030. Todas as políticas, medidas e ações para implementar a iNDC do Brasil são conduzidas no âmbito da Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei 12.187/2009), da Lei de Proteção das Florestas Nativas (Lei 12.651/2012, o chamado Código Florestal), da Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Lei 9.985/2000) e da legislação, instrumentos e processos de planejamento a elas relacionados. (iNDC)⁵

Além das importantes medidas de proteção das florestas e do controle dos impactos da mudança de uso do solo, a iNDC brasileira incluiu orientações específicas ao setor de energia: i) aumentar a participação de biocombustíveis sustentáveis no mix de energia brasileiro para cerca de 18% até 2030, expandindo o consumo de biocombustível (etanol, biodiesel e biocombustíveis de segunda geração); ii) atingir 45% de energias renováveis na matriz energética até 2030 (entre 28% a 33% de energias renováveis não hidráulicas; e na matriz elétrica pelo menos 23%, com 10% de ganhos de eficiência); iii) promover, no setor industrial, novos padrões de tecnologia limpa e medidas de eficiência energética e infraestrutura de baixo carbono; e iv) viabilizar, no setor de transportes, medidas de eficiência e melhorar a infraestrutura de transporte e transporte público em áreas urbanas.

⁵ Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC, na sigla em inglês) é o documento do governo brasileiro que registra os principais compromissos e contribuições do Brasil no acordo de Paris.

A eletrificação do transporte automotivo, que é o principal indutor de descarbonização do segmento em países desenvolvidos, ainda não é uma tendência perceptível no Brasil. A difusão de carros elétricos no país é limitada por seu elevado preço de aquisição, frente à possibilidade de pagamento de consumidores brasileiros, e pela falta de infraestrutura de recarga. Esse processo de difusão é caracterizado por economias de rede e as políticas públicas serão essenciais para dispará-lo.

4. OS EFEITOS DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO SUBSISTEMA NORDESTE

O objetivo deste capítulo é apresentar condições reais da infraestrutura elétrica do Brasil para que possamos focar no tema principal deste, trabalho que é caracterizar a transição energética no país. Para este objetivo, escolhemos focar na região nordeste, onde temos mudanças consideráveis na composição da matriz local (grande volume de novas fontes renováveis intermitentes como eólica e solar).

A base principal de dados será o Operador Nacional do Sistema (ONS), que é órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) e pelo planejamento da operação dos sistemas isolados do país, sob a fiscalização e regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).

4.1. SIN – Uma Visão Geral do Sistema Interligado Nacional

O Brasil possui um sistema elétrico organizado em quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro Oeste, Nordeste e Norte. É um sistema de grande porte estabelecido para garantir a produção e transmissão de energia elétrica que envolve modelos complexos de simulação, baseado principalmente nos três pilares hidro/termo/eólico.

Pelo próprio nome, sistema interligado nacional, existe uma malha de transmissão que permite a transferência de energia entre subsistemas e conseqüentemente a interconexão dos sistemas elétricos possibilitando ganhos sinérgicos e otimizações entre os diferentes regimes hidrológicos das bacias.

Como já explanado nos capítulos anteriores, a capacidade instalada de geração do SIN é composta, principalmente, por usinas hidrelétricas. Estas usinas estão distribuídas em dezesseis bacias hidrográficas nas diferentes regiões do país. Nos últimos anos, a instalação de usinas eólicas, principalmente nas regiões Nordeste e Sul, apresentou um forte crescimento, aumentando a importância dessa geração para o atendimento do mercado. As usinas térmicas, em geral localizadas nas proximidades dos principais centros de carga, desempenham papel estratégico relevante, pois contribuem para a segurança do SIN. Um dos principais papéis do SIN é fazer a integração das diferentes fontes de produção de energia e assegurar um suprimento robusto e ao mesmo tempo otimizado.

4.2. Projeções e Tendências para o Subsistema Nordeste

Para iniciar nossa reflexão sobre as projeções específicas do Subsistema Nordeste, faremos primeiro uma análise da projeção global do nosso sistema. Abaixo temos uma ilustração que traz o sistema interligado e suas principais conexões com os respectivos limites de importação/exportação de energia.

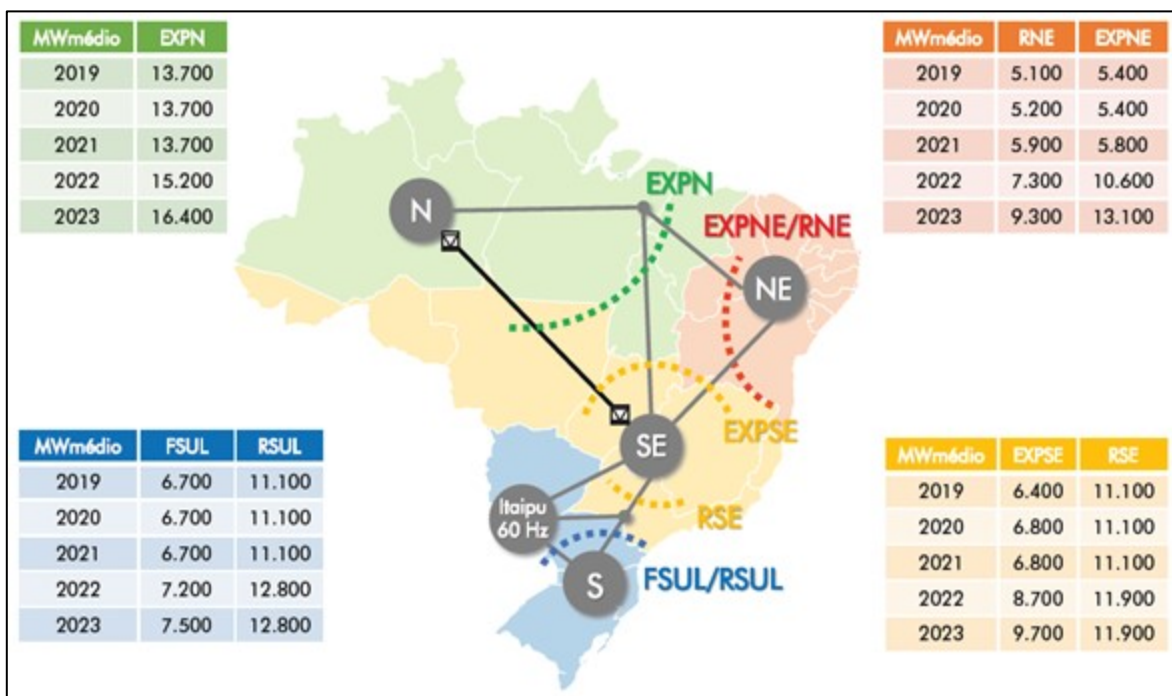


Figura 31: Limites das Interligações Inter-Regionais – Fonte: ONS, PAR Executivo 2019-2023

Legenda:

- EXPN – Máxima exportação da região Norte
- EXPNE – Máxima exportação da região Nordeste
- RNE – Máxima recebimento da região Nordeste
- EXPSE – Máxima exportação da região Sudeste/Centro-Oeste
- SER – Máximo recebimento da região Sudeste/Centro-Oeste
- FSUL – Máximo fornecimento da região Sul
- RSUL – Máximo recebimento da região Sul

As interligações inter-regionais são utilizadas para viabilizar a transferência de energia entre as bacias localizadas nas diferentes regiões geográficas do extenso território brasileiro, visando a otimização dos recursos energéticos existentes. Sendo assim, é de suma importância definir os limites de transferência de energia dessas interligações, analisando o desempenho em regime permanente e dinâmico, seguindo critérios que garantam a segurança da operação do SIN, para todo horizonte de estudos do PAR – Plano de Ampliações e Reforços nas Instalações de

Transmissão do SIN e PEL – Plano da Operação Elétrica, ambos de responsabilidade do ONS.

Apesar da estruturação do SIN ser de forma a otimizar os recursos energéticos, na prática do passado recente, temos sérios gargalos de escoamento de energia onde é preciso refletir a entrada de forma mais organizada das novas fontes, que falaremos com mais detalhes ainda neste capítulo.

O horizonte de consumo de energia é crescente conforme vimos no desafio da transição energética (Capítulo 3.2). Na figura abaixo temos a projeção de aumento da carga máxima para o SIN de 23% para Brasil e superior a 30% para o nordeste, caso específico do nosso estudo. Ou seja, o desafio duplo novamente é resgatado: crescimento e transição energética.

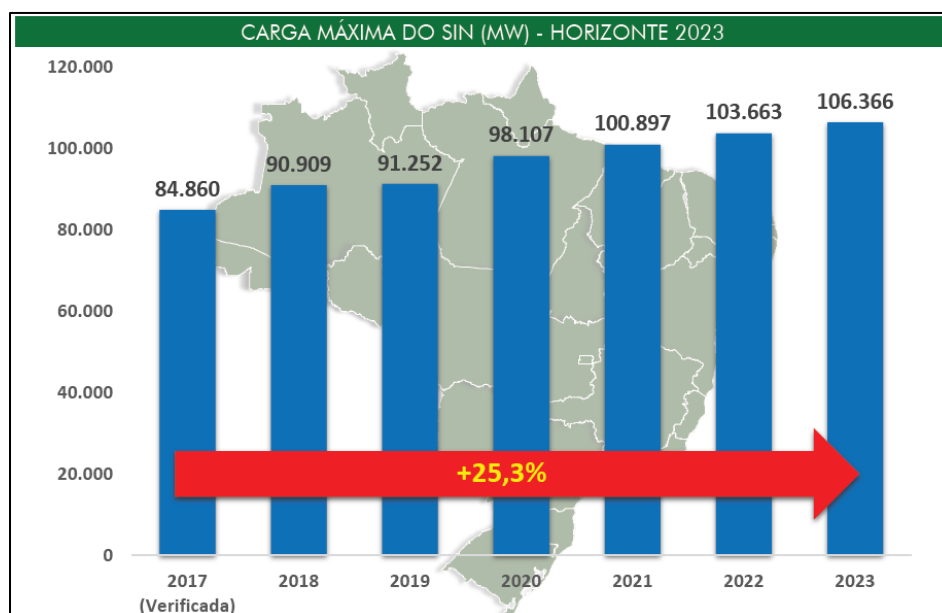


Figura 32: Projeção de Aumento de Carga Brasil – Fonte: ONS, PAR Executivo 2019-2023

Além da projeção crescente de carga conforme ilustrado acima, temos uma outra abordagem interessante, um indicador chamado de elasticidade-renda. Este parâmetro faz uma relação entre o aumento do consumo de energia versus o crescimento do país (PIB) naquele período. De forma conservadora, expurgando a década entre 1980 e 1990, onde houve um indicador bem atípico, conforme histórico dos últimos 50 anos, para cada 1% de crescimento do PIB, temos que produzir em torno de 1,41% a mais de energia. Abaixo temos a ilustração das últimas décadas e a projeção para a próxima (2017-2027).

Este é um indicador fundamental para que possamos realizar um planejamento mais assertivo, uma vez que a implantação de novas infraestruturas demanda esforço e tempo consideráveis.

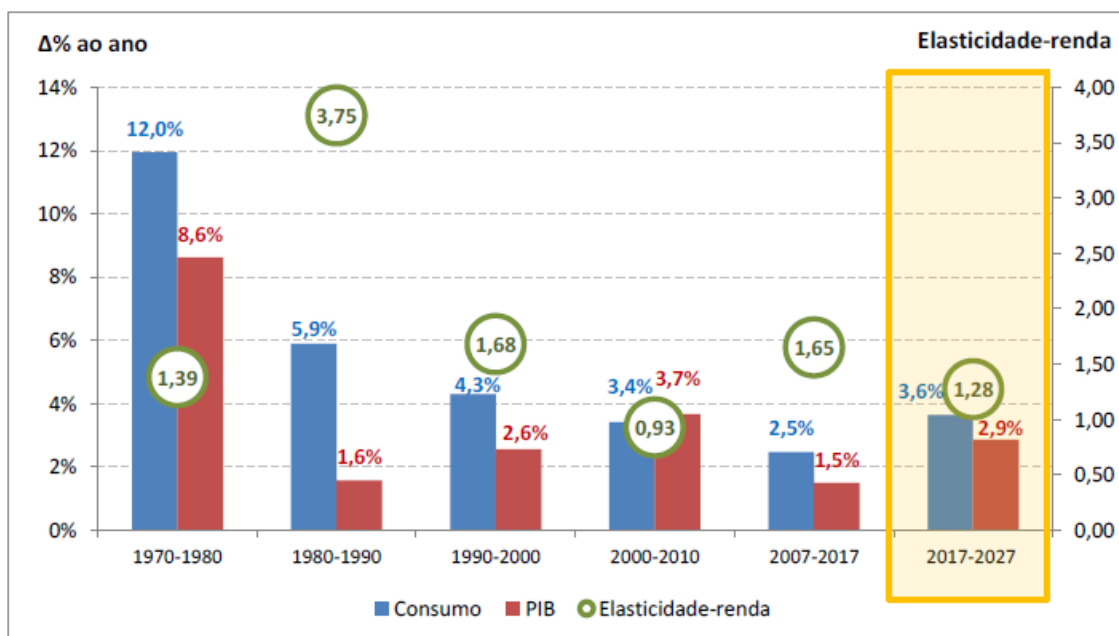


Figura 33: Histórico e Projeção da Elasticidade-renda da demanda de eletricidade – Fonte: PDE 2027

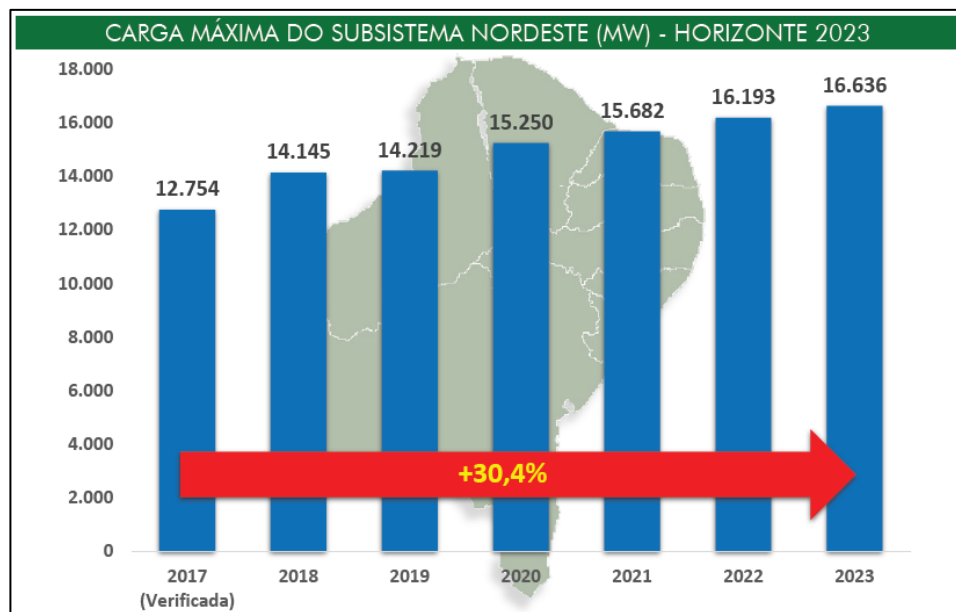


Figura 34: Projeção de Aumento de Carga no Subsistema Nordeste – Fonte: ONS, PAR Executivo 2019-2023

A escolha da região Nordeste como estudo de caso pode ser melhor entendida com a figura abaixo. Enquanto a participação da fonte eólica na matriz brasileira é de 9% conforme Figura 06, no Subsistema Nordeste temos a Eólica com um peso de 37%, projetada para atingir próximo de 39% em 2023. É uma das regiões do país em que teremos um dos maiores incrementos das novas fontes

renováveis intermitentes (Eólica e Solar) e por isso a ideia de explorar esta transição específica.

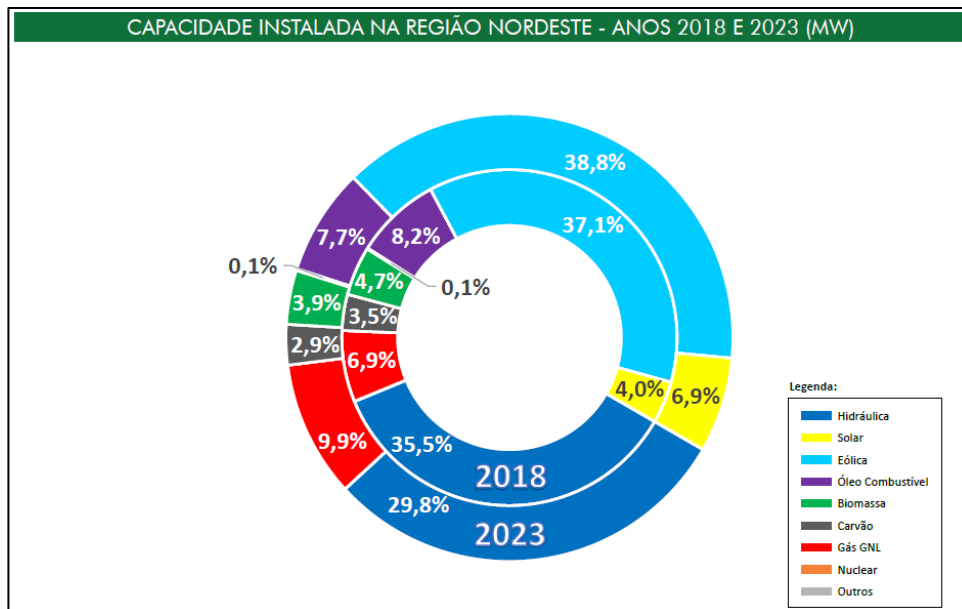


Figura 35: Projeção Capacidade Instalada no Subsistema Nordeste – Fonte: ONS, PAR Executivo 2019-2023

Até o ano de 2018, a limitação do sistema de transmissão da região nordeste foi uma grande barreira para o escoamento da energia gerada local, principalmente referente a escalada dos parques eólicos recém instalados na região. Neste período podemos observar dois estados mais afetados:

i. Bahia

- a. Ausência das obras outorgadas à ABENGOA, com destaque para as SEs 500 kV Barreiras II e Gilbués II e as LTs 500 kV Gilbués II – Barreiras II – Bom Jesus da Lapa II C1 e Bom Jesus da Lapa II – Igarorã III – Ibicoara – Sapeaçu C2, cuja concessão foi revogada pelo MME, em um processo de caducidade, por meio da Portaria MME nº 373/2017, de 19 de setembro de 2017; e
- b. Principalmente, o atraso da LT 500 kV Sapeaçu – Camaçari IV, de propriedade da CHESF, que não estará disponível até 01/07/2020.

ii. Rio Grande do Norte

- a. Ausência das obras outorgadas à ABENGOA, com destaque para a SE 500/230 kV Açú III e a LT 500 kV Açú III – Milagres II C1, cuja concessão foi revogada pelo MME, em um processo de caducidade, por meio da Portaria MME nº 373/2017, de 19 de setembro de 2017; e

- b. O atraso de obras da CHESF, com destaque para as LTs 230 kV Paraíso – Açú II C3, Açú II – Mossoró II C2 e Pau Ferro – Santa Rita II C1 e para a recapacitação da LT 230 kV Campina Grande II – Goianinha C1.

Visando avaliar melhor a situação do sistema elétrico brasileiro em relação a capacidade de absorção de novas fontes de energia, o ONS emitiu em novembro de 2017 a nota técnica referente ao Leilão de Energia Nova A-4: “LEN – A-4/2017: Quantitativos da Capacidade Remanescente do SIN para escoamento pela Rede Básica, DIT e ICG”. O objetivo principal deste trabalho do ONS foi analisar os quantitativos da capacidade remanescente para escoamento de geração na Rede Básica, Demais Instalações de Transmissão (DIT) e Instalação de Transmissão de Interesse Exclusivo de Centrais de Geração para Conexão Compartilhada (ICG) a serem considerados para realização do LEN A-4, e desta forma não permitir a conexão de novas fontes em pontos do sistema sem capacidade de escoamento.

A base deste estudo foi o Plano de Ampliações e Reforços nas Instalações de Transmissão do SIN – PAR 2018-2020, além de considerar, dentre outros fatores que visam garantir a confiabilidade do estudo, a expansão da Rede Básica, DIT e ICG já contratada com entrada em operação comercial em **até 6 meses antes à data de início de suprimento de energia contratada no leilão.**

Este foi um dos estudos que está permitindo a entrada em operação de novos corredores de transmissão, e conseqüentemente, a possibilidade do Subsistema Nordeste ser um exportador cada vez mais presente. A seguir temos uma visão dos corredores de exportação do Subsistema Nordeste. O limite de exportação Nordeste mais que dobra ao longo do horizonte, passando dos atuais 5.500 MW nas cargas pesada e média e 5.300 MW na carga leve para 13.300 MW e 12.700 MW nos patamares de cargas média e leve, respectivamente em 2023.

No horizonte deste PAR/PEL 2018, os corredores de exportação do subsistema Nordeste para as regiões Norte e Sudeste são bastante ampliados, principalmente entre o Sudeste e Nordeste que contará com a inserção de seis novos circuitos em 500 kV conforme figura abaixo.

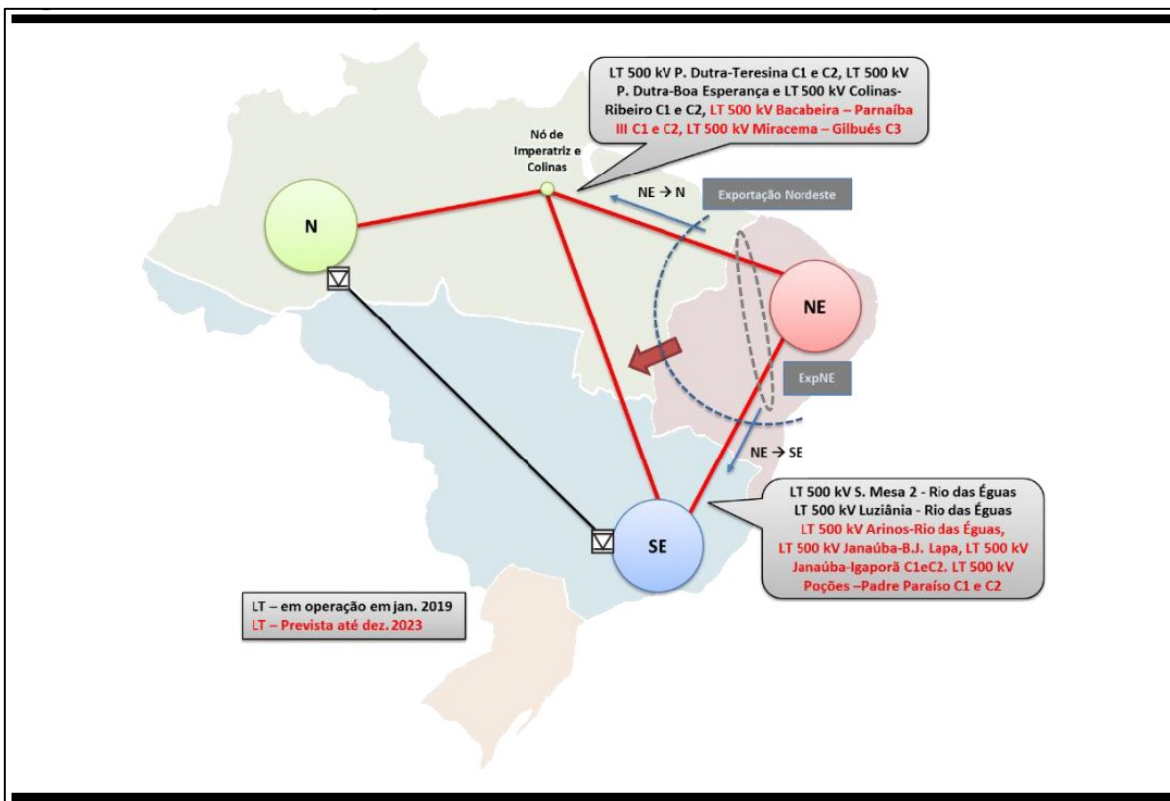


Figura 36: Corredores de Exportação da Região Nordeste – Fonte: ONS, PAR Executivo 2019-2023

Outro tema sensível para ampliação das fontes intermitentes em um subsistema específico que é preciso avaliar, além das restrições de infraestrutura, e é motivo de um procedimento de rede específico, são os Requisitos Técnicos Mínimos para conexão às instalações de transmissão, presente no Submódulo 3.6 dos Procedimentos de Rede do ONS. Dentre os principais objetivos destas diretrizes podemos elencar:

1. Operação em regime de frequência não nominal:
Objetivo: Minimizar os desligamentos dos geradores (no caso das eólicas) quando o sistema pode se recuperar pela própria capacidade de regulação.
2. Geração/absorção de potência reativa:
Objetivo: Auxílio no controle de tensão e melhora das margens de estabilidade de tensão.
3. Modos de controle: (tensão, potência reativa e fator de potência)
Objetivo: Adequar seu funcionamento em função das necessidades do sistema.
4. Operação em regime de tensão não nominal:
Objetivo: Evitar o desligamento da central geradora durante variações de tensão de grandeza e tempo definidos.
5. Atendimento do fator de potência em regime de tensão não nominal:

Objetivo: Garantir os requisitos de fator de potência em toda a faixa operativa das tensões.

6. Participação em SEP:

Objetivo: Minimizar as consequências de perturbação no sistema.

7. Potência ativa de saída:

Objetivo: Garantir adequada recuperação de potência quando do restabelecimento de tensão após distúrbio e garantir disponibilidade de potência em situações de subfrequência, minimizando os cortes de cargas pela atuação do ERAC.

Ainda assim, diante dos desafios estruturais e técnicos registrados acima, podemos considerar que o Subsistema da região Nordeste representa uma das referências em transição energética para o Brasil e o mundo, tanto pela entrada em massa de novas fontes renováveis quanto pelo avanço na tendência de ser um subsistema cada vez mais autossuficiente em fontes renováveis. Esta tendência fica mais clara no balanço energético da região Nordeste abaixo, em que a fonte eólica já assume posição de liderança, e a solar, começando ainda um pouco tímida nos últimos dois anos, mas com um imenso potencial sendo alavancado e projeção de atingir próximo de 7% da capacidade instalada da região até 2023, conforme Figura 24 acima.

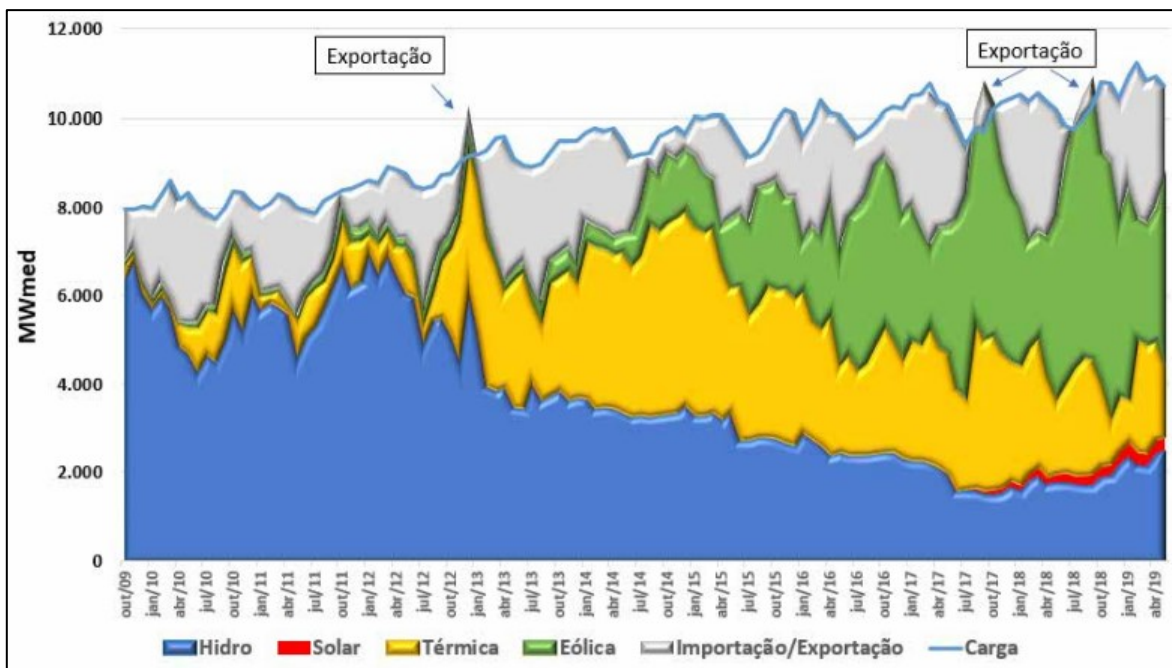


Figura 37: Balanço Energético do Nordeste – Fonte: ONS, PEN Sumário Executivo 2019-2023

5. CONCLUSÕES

A alguns bons anos, temos o alerta constante da comunidade científica que a economia mundial deve reduzir as emissões de gases de efeito estufa para controlar o incremento da temperatura global, enfrentar a mudança climática e então poder evitar o desenvolvimento de uma crise ecológica global em curso. Esta “força tarefa” tem basicamente dois pilares principais: 1) Desmaterialização da economia através de tecnologias e processos mais eficientes com menor intensidade energética 2) Descarbonização da economia utilizando recursos energéticos que não emitem CO₂, priorizando as fontes renováveis intermitentes.

No entanto este grande desafio encontra fortes resistências no “**não descasamento**” entre crescimento econômico, uso de energia e emissões de CO₂, apesar da crescente capacidade instalada de energias renováveis e das contínuas melhorias em eficiência energética.

Ou seja, existe um “cordão umbilical” muito forte unindo este trilema de crescimento econômico, uso de energia e emissões de CO₂, com tendência natural de manter um ciclo vicioso, onde acreditamos que deverá haver o maior esforço para ruptura.

Diante destes cenários de dificuldades, temos uma vertente que ganha força que são as tecnologias de armazenamento e captura de carbono diretamente da atmosfera para atender a velocidade necessária de buscar as metas climáticas.

Virando o holofote para o Brasil, a Matriz Elétrica Brasileira, em grande parte por condições naturais do Brasil, apresenta uma condição bem privilegiada se comparada com os demais países. Os recursos renováveis água, vento e sol no Brasil são abundantes e adequados às tecnologias de conversão de energia existentes. Este cenário não quer dizer que estamos livres de preocupações e ações, pelo contrário, as facilidades naturais podem inclusive criar um ambiente cômodo em que não tenhamos a devida atenção e planejamento prévio para continuarmos nesta liderança de sustentabilidade.

Ainda assim, a Transição Energética, tema central deste trabalho, veio para ficar e buscar seu espaço de forma definitiva. Como um dos pilares da motivação para a Transição Energética, a sobrevivência da humanidade, acredito que nenhum de nós tenhamos mais dúvidas da real importância do tema, que mesmo assim vai enfrentar interesses individuais de grandes potências. A força das academias, intelectual e científica, terão um papel fundamental de catalisação deste tema, para que cada vez mais possamos aumentar a pressão nos núcleos detentores de decisões.

Derivando de uma Matriz Elétrica predominantemente renovável, conseguimos também largar na frente na corrida da Transição Energética. Com as principais tecnologias de conversão de energia consolidadas e um farto “cardápio” de recursos renováveis disponíveis, temos o dever de fazer uma gestão técnica e profissional de alta performance para que possamos ser uma nação referência na descarbonização.

A região Nordeste, aparece também neste movimento com um certo protagonismo. Conforme apresentado na figura 33 acima, a expansão da

capacidade instalada está alinhada com a transição energética. Uma região, normalmente discriminada pelas políticas públicas, com uma das maiores desigualdades sociais do país, tem a oportunidade de alavancar uma transição sustentável, de caráter global. A já predominância das novas fontes renováveis em sua matriz lhe dá força e também responsabilidade para conduzir uma transição pioneira.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de informação de geração**. Brasília: ANEEL, 2019. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: set. 2019.

ARCHER, D. The Long Thaw: How Humans Are Changing the next 100,000 Years of Earth's Climate. In: **Science Essentials** [s.l.] Princeton University Press, 2010. p. 1-193.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **BNDES 50 Anos – Histórias Setoriais**. Rio de Janeiro, p.234-254, 2002.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balço energético nacional – BEN**. Brasília, 2019.

BP. **Statistical Review of World Energy 2019**. Disponível em: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook.html>

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2027**. Brasília: MME/EP, 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico**. Brasília: ANEEL, 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica-interativo>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Programa de Expansão da Transmissão (PET) / Plano de Expansão de Longo Prazo (PELP)**. Brasília: EPE, 08 de Março de 2019.

IEA. **ELECTRICITY INFORMATION: OVERVIEW (2018 edition)**, International Energy Agency. Disponível em: <https://www.iea.org/>

ILUMINA. **Instituto de Desenvolvimento Estratégico do Setor Energético**, Disponível em: <http://www.ilumina.org.br/>

IRENA. **Power System Flexibility for the Energy Transition, Part 1: Overview for policy makers**, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2018.

IRENA. **Renewable Power Generation Costs in 2018**, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2019.

LORENZO H.C.; **O SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO: PASSADO E FUTURO**. São Paulo, v.24-25, p.147-170, 2001-2002.

LOSEKANN L.; TAVARES F. B. **POLÍTICA ENERGÉTICA NO BRICS: DESAFIOS DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA**. Rio de Janeiro, julho de 2019.

MEZA, C.G. **Transição energética global e desenvolvimento sustentável: limites e possibilidades no capitalismo contemporâneo**. 2018. 200 f. Tese (Doutorado em Energia) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **SUBMÓDULO 3.6 REQUISITOS TÉCNICOS MÍNIMOS PARA ACONEXÃO ÀS INSTALAÇÕES DE TRANSMISSÃO**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/>

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **NT 0046/2019 LEN A-4/2019: QUANTITATIVOS DA CAPACIDADE REMANESCENTE DO SIN PARA ESCOAMENTO DE GERAÇÃO PELA REDE BÁSICA, DIT E ICG**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/>

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **NT 0118/2017 LEN A-4/2017: QUANTITATIVOS DA CAPACIDADE REMANESCENTE DO SIN PARA ESCOAMENTO DE GERAÇÃO PELA REDE BÁSICA, DIT E ICG**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/>

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **PAR Executivo 2019-2023 - Plano de Ampliações e Reforços nas Instalações de Transmissão**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/>

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **DPL-REL - 0222/2018 - PEL 2019-2020 - Plano da Operação Elétrica**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/>

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **PEN 2019-2023 - Plano da Operação Energética**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/>