



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

Jéssica Carvalho de Santana

**O PAPEL DO GÁS NATURAL NA DIVERSIFICAÇÃO E SEGURANÇA DA
MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA (2015 – 2030)**

Rio de Janeiro
2022

Jéssica Carvalho de Santana

**O PAPEL DO GÁS NATURAL NA DIVERSIFICAÇÃO E SEGURANÇA DA
MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA (2015 – 2030)**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Instituto de Economia da
Universidade Federal do Rio de Janeiro
como parte dos requisitos necessários à
obtenção do grau de Bacharela em
Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Nivalde José de Castro

Rio de Janeiro
2022

FICHA CATALOGRÁFICA

S232 Santana, Jéssica Carvalho de.

O papel do gás natural na diversificação e segurança da matriz elétrica brasileira (2015 – 2030) / Jéssica Carvalho de Santana. – 2022.

55 f.; 31 cm.

Orientador: Nivalde José de Castro.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Bacharel em Ciências Econômicas, 2022.

Bibliografia: f. 51 – 55.

1. Transição energética. 2. Gás natural. 3. Sistema elétrico brasileiro. I. Castro, Nivalde José de, orient. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Economia. III. Título.

CDD 333.71

JÉSSICA CARVALHO DE SANTANA

O PAPEL DO GÁS NATURAL NA DIVERSIFICAÇÃO E SEGURANÇA DA MATRIZ
ELÉTRICA BRASILEIRA (2015 – 2030)

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Instituto de Economia da Universidade Federal do
Rio de Janeiro, como requisito para a obtenção do
título de Bacharela em Ciências Econômicas.

Rio de Janeiro, 4/13/2022.

NIVALDE JOSÉ DE CASTRO - Presidente
Professor Dr. do Instituto de Economia da UFRJ

RUBENS ROSENAL
Mestre em Engenharia de Produção pela COPPE/UFRJ

LUCCA ZAMBONI
Doutor em Engenharia Elétrica pela USP

ANDRE LUIS DA SILVA LEITE
Professor Dr. do Departamento de Ciências da Administração da UFSC

Dedico este trabalho à Deus e à minha mãe, por ser meu maior exemplo de força e generosidade.

AGRADECIMENTOS

À Deus, o criador de todas as coisas, que sempre esteve presente. Com Ele aprendi o verdadeiro significado do amor. Através de Sua infinita bondade e graça, recebi e vivenciei grandes vitórias que nem em meus maiores sonhos eu poderia imaginar.

À minha família, por todo o apoio e por sempre acreditarem que eu sou capaz de ir além. Vocês sempre terão o meu melhor. Agradeço especialmente à minha mãe, que sempre lutou por mim e me apoiou quando eu mais precisei, e ao meu pai, que mesmo não estando aqui presente, sempre me encorajou nos estudos e acreditou no meu potencial.

A toda comunidade do Instituto de Economia da UFRJ, sem vocês nada disso seria possível.

A todos que estiveram ao meu lado nesta jornada e em algum momento contribuíram para minha formação não somente profissional, mas sobretudo humana.

RESUMO

Em um contexto em que a transição energética está constantemente em pauta, é essencial entender como o Brasil pode caminhar em direção a uma matriz elétrica mais diversificada e com menor emissão de GEE, em convergência com as metas de descarbonização mundiais e sem que ocorra insuficiência de suprimento elétrico. Por conta disso, o presente estudo destina-se a demonstrar o importante papel empenhado pelo gás natural para que sejam alcançados os dois grandes objetivos já mencionados: diversificação e segurança da matriz elétrica brasileira.

Para a explicação desse papel foi feito um levantamento da matriz elétrica global em comparação com a brasileira, ressaltando a grande diferença desta última por possuir uma matriz majoritariamente renovável. Ademais, através do panorama nacional e as projeções acerca do gás natural e da geração termelétrica movida a esse combustível, feitas principalmente pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), foi possível perceber uma trajetória de expansão até 2030. Alinhado a isso, foi feita a análise acerca das vantagens comparativas do gás natural, que estão centradas em: i) gás natural como combustível fóssil menos emissor; ii) fonte controlável, permitindo o aumento das fontes renováveis alternativas na matriz elétrica, além de ser uma garantia de suprimento em período de escassez hídrica; iii) gás natural como combustível para a geração elétrica também nos sistemas isolados, substituindo fontes mais emissoras e garantindo um fornecimento seguro de energia elétrica.

Diante de tudo isso foi possível concluir que o gás natural empenha um grandioso papel na matriz elétrica brasileira, tanto nas localidades ligadas ao SIN, quanto nos sistemas isolados, como um combustível que permite a transição elétrica com a expansão das renováveis, trazendo, simultaneamente, garantia de suprimento elétrico e confiabilidade para o Sistema Elétrico Brasileiro (SEB). Entretanto, para que isso ocorra é imprescindível que alguns desafios - relacionados à indústria do gás natural no país - sejam superados, principalmente no que tange à expansão da infraestrutura de transportes, criação de um ambiente mais dinâmico e competitivo e melhorias no âmbito regulatório.

Palavras-chave: Transição Energética, Gás Natural e Sistema Elétrico Brasileiro.

ABSTRACT

In a context in which the energy transition is constantly on the agenda, it is essential to understand how Brazil can move towards a more diversified electricity matrix with lower GHG emissions, in line with global decarbonization goals and without the occurrence of insufficient energy. electrical supply. Because of this, the present study is intended to demonstrate the important role played by natural gas in order to achieve the two main objectives mentioned above: diversification and security of the Brazilian electrical matrix.

To explain this role, a survey of the global electrical matrix was carried out in comparison with the Brazilian one, highlighting the great difference of the latter for having a mostly renewable matrix. In addition, through the national panorama and the projections about natural gas and thermoelectric generation powered by this fuel, made mainly by the Empresa de Pesquisa Energética (EPE), it was possible to perceive an expansion trajectory until 2030. In line with this, is the analysis about the comparative advantages of natural gas, which are centered on: i) natural gas as a less emitting fossil fuel; ii) controllable source, allowing the increase of alternative renewable sources in the electricity matrix, in addition to being a guarantee of supply in periods of water scarcity; iii) natural gas as fuel for electric generation also in isolated systems, replacing more emitting sources and guaranteeing a safe supply of electric energy.

In view of all this, it was possible to conclude that natural gas plays a great role in the Brazilian electrical matrix, both in locations linked to the National Interconnected System and in isolated systems, as a fuel that allows the electrical transition with the expansion of renewables, simultaneously bringing guarantee of electrical supply and reliability for the Brazilian Electric System. However, for this to occur, it is essential that some challenges - related to the natural gas industry in the country - be overcome, especially with regard to the expansion of transport infrastructure, creation of a more dynamic and competitive environment and improvements in the regulatory framework.

Keywords: Energy Transition, Natural Gas and Brazilian Electric System.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
Contextualização do Tema	9
Objetivos Geral e Específicos.....	11
Estrutura da Monografia	12
CAPÍTULO 1 – TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO SETOR ELÉTRICO: BRASIL VERSUS MUNDO.....	13
1.1. Matriz Elétrica Global	13
1.2. Evolução do Panorama Global	15
1.3. Tendências da Matriz Elétrica Mundial.....	18
1.4. Matriz Elétrica Brasileira.....	19
1.5. Evolução do Panorama Brasileiro	20
1.6. Tendências da Matriz Elétrica Brasileira.....	22
CAPÍTULO 2 – CARACTERÍSTICAS DO GÁS NATURAL E SUA RELAÇÃO COM AS TERMELÉTRICAS	24
2.1. Breve Histórico do Gás Natural no País	24
2.2. Panorama Nacional e Projeções.....	26
2.3. Termelétricas Movidas a Gás Natural	31
CAPÍTULO 3 – DIVERSIFICAÇÃO E SEGURANÇA NO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO ATRAVÉS DO GÁS NATURAL	37
3.1. Vantagens Comparativas do Gás Natural	37
3.2. Crise Hídrica	41
3.3. Gás Natural e o PDE 2030: Projeções dadas pela EPE	42
3.4. O Gás Natural nos Sistemas Isolados	45
3.5. Desafios do Gás Natural no SEB	47
CONCLUSÃO.....	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

INTRODUÇÃO

Contextualização do Tema

O Brasil possui um sistema hidro-termo-eólico de grande porte para a produção e transmissão de energia elétrica, o que envolve modelos complexos de simulações para seu funcionamento. Este sistema elétrico é organizado em quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte, com a existência de uma malha de transmissão que permite a transferência de energia entre os subsistemas e, assim, uma interconexão dos sistemas elétricos, o que possibilita ganhos sinérgicos e otimizações, caracterizando o Sistema Interligado Nacional (SIN). A energia produzida é intercambiada em todas as regiões, com exceção dos sistemas isolados, que estão localizados principalmente na região Norte do país. (ANEEL E ONS, [s.d]). Nesse aspecto, a transição energética afeta a maneira como a energia, inclusive a elétrica, é produzida não só dentro do SIN, mas em todo o sistema de energia mundial, sendo de suma importância um maior entendimento sobre a temática.

Nesse sentido, nos dias atuais o debate sobre as mudanças climáticas e seus potenciais riscos que afetam não só o meio ambiente, mas também a humanidade, é central nas agendas internacionais. Dessa forma, propostas vêm sendo estudadas e feitas com o intuito de diminuir as emissões dos gases efeito estufa (GEE), além de acordos internacionais que reforçam essa problemática e firmam objetivos de redução, como o Acordo de Paris em 2015. A relevância da transição energética se deu principalmente a partir da Crise do Petróleo dos anos 70 e do aumento da conscientização a partir dos anos 90 acerca dos impactos que os combustíveis fósseis podem gerar. (CASTRO, et.al, 2019, p. 2).

A transição energética contemporânea é caracterizada pela transformação de um sistema energético global, conhecido por depender dos combustíveis fósseis, em um sistema energético de carbono zero até metade deste século. Seu principal objetivo, nesse aspecto, é a descarbonização do setor de energia para redução das mudanças climáticas, segundo a Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA, [s.d]). Nesse sentido, a grande importância desse processo de transição advém também do fato da geração de eletricidade ser a atividade que possui maior contribuição para a emissão mundial dos GEE, centralizando, dessa forma, o setor elétrico nas políticas de mitigação das implicações do aquecimento global. (PINTO JR., 2016. p. 187). Segundo Pinto Jr.:

“Esse protagonismo do setor faz com que na passagem de uma economia baseada em combustíveis fósseis para uma economia sustentada em energias renováveis – a chamada transição energética –, a mudança da matriz de geração elétrica na direção das renováveis – a chamada transição elétrica – desempenhe um papel essencial”. (PINTO JR., 2016, p. 187).

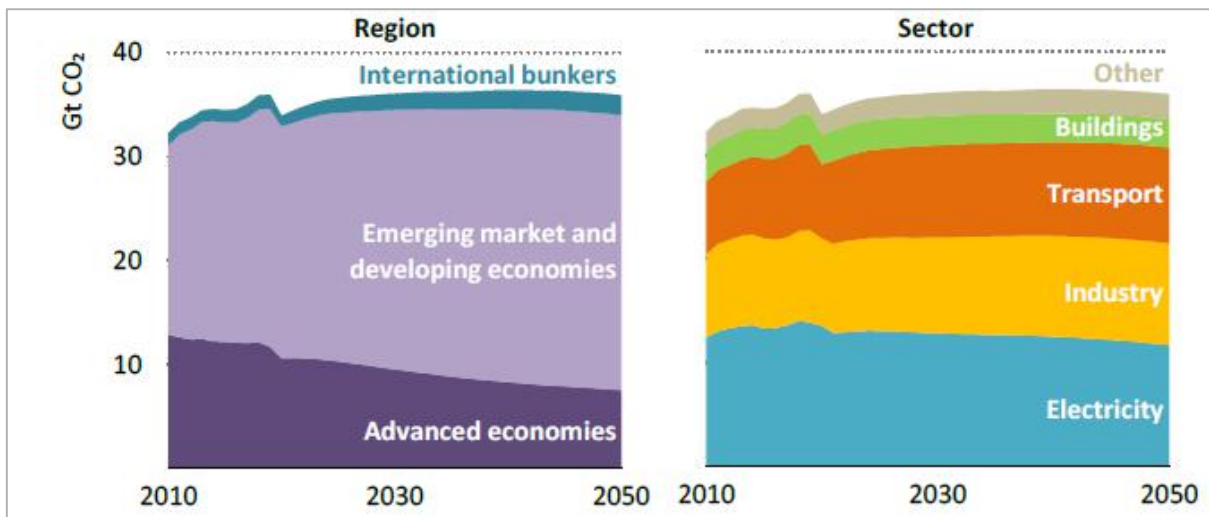
De acordo com a figura 1, há grande divergência entre as perspectivas de emissões em economias avançadas e nos mercados emergentes. As emissões de CO₂ nos países desenvolvidos apresentaram redução a partir de 2010, com uma queda abrupta em 2020, decorrente da crise sanitária, e tendência de decréscimo no horizonte temporal até 2050, graças ao impacto de políticas e do progresso tecnológico no âmbito da transição.

Em contrapartida, as economias em desenvolvimento apresentaram crescimento das emissões nos anos iniciais, observa-se uma queda acentuada em 2020 e posteriormente, as projeções indicam uma relativa estabilização. Isso ocorre, em parte, por conta da demanda crescente por energia enfrentada nesses países, decorrente do aumento populacional, crescimento econômico, urbanização e expansão da infraestrutura. Tais efeitos acabam superando a implementação de medidas de eficiência energética e utilização de tecnologias limpas.

À vista disso, as emissões mundiais nos diferentes setores aumentaram a partir de 2010 até apresentarem uma queda também em 2020. É possível notar que o setor de eletricidade se mantém desde 2010 até 2050 como o mais emissor dentre eles, seguido pela indústria e transportes, respectivamente. (IEA, 2021, p.36).

Dessa maneira, o setor elétrico possui suma importância para a redução de poluentes despejados na atmosfera, e para entender os desafios envolvidos na transição energética é primordial entender os desafios envolvidos na transição elétrica. (PINTO JR., 2016, p.187). Por esse motivo, o presente trabalho se propõe a analisar os aspectos relacionados à transição no setor referido.

Figura 1: Emissão de CO₂ por setor e região



Fonte: IEA - Net Zero by 2050, 2021.

Notas:

- (1) Outros= agricultura e uso próprio no setor de energia.
- (2) Cenário considerado pela IEA foi o de Políticas Declaradas, que leva em consideração apenas as políticas específicas que estão em vigor ou foram anunciadas pelos governos.

Objetivos Geral e Específicos

O propósito deste estudo é identificar a importância do setor de gás natural brasileiro para a segurança de suprimento elétrico e diversificação da matriz elétrica brasileira em direção a uma economia com menor emissão de gases efeito estufa durante o período considerado.

Para tanto, os objetivos específicos consistem em: i) analisar a evolução da matriz elétrica no Brasil ao longo dos 15 anos (2015-2030), considerando os cenários de expansão da matriz elétrica dados pela EPE; ii) avaliar a questão de segurança energética no país em um atual contexto de crise hídrica; iii) analisar brevemente o papel do gás natural em uma transição específica dos sistemas isolados; e iv) apresentar os principais desafios no que tange a temática do gás natural como um combustível para a transição energética no país.

Estrutura da Monografia

O tema acima proposto está estruturado em três capítulos e suas subseções, além desta introdução. O primeiro capítulo aborda a transição energética brasileira comparativamente à mundial, com enfoque para a transição elétrica. O intuito é ressaltar a diferença da transição elétrica que vem ocorrendo no país e como o Brasil é considerado um “ponto fora da curva” em um contexto mundial, por possuir uma matriz majoritariamente renovável.

Em seguida, o segundo capítulo trata especificamente do gás natural no setor elétrico brasileiro, trazendo aspectos relacionados a história do gás natural no território nacional, o panorama e estimativas desse energético no país e, por fim, informações sobre as termelétricas movidas a gás, detalhando a estrutura da cadeia de gás natural que proporciona o atendimento às termelétricas e seus aspectos econômicos.

Por fim, o terceiro capítulo apresenta os aspectos relacionados ao gás natural que o fundamentam como um combustível de transição energética, além de garantir suprimento ao SEB. Além disso, aborda o papel dessa fonte na crise hídrica, visto que é fundamental dar suporte ao fornecimento de energia hidroelétrica por conta da grande escassez de chuvas e diminuição do nível dos reservatórios. Em terceiro lugar, revela informações acerca do Plano Decenal de Expansão de Energia 2030, feito pela EPE, ressaltando as projeções relacionadas ao gás natural. Em quarto lugar, analisa o papel do gás natural em uma transição específica dos sistemas isolados, como o de Roraima, contribuindo significativamente para a segurança de fornecimento elétrico nesse local. Por último, elege uma série de desafios relacionados a um maior dinamismo e desenvolvimento da indústria de gás natural, no que tange à geração elétrica no país.

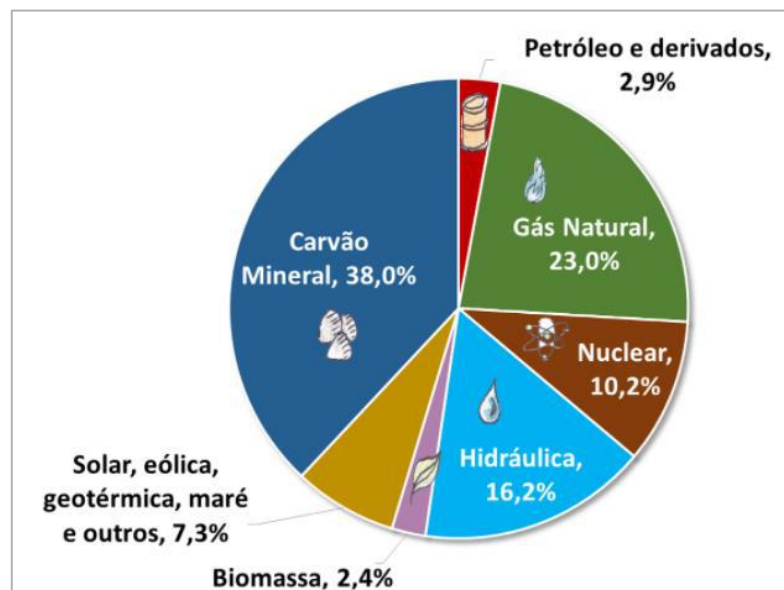
CAPÍTULO 1 – TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO SETOR ELÉTRICO: BRASIL VERSUS MUNDO

1.1. Matriz Elétrica Global

A composição da matriz elétrica mundial é predominantemente formada por fontes mais emissoras de gases poluentes, como o carvão e o gás natural, com destaque para o primeiro, conforme a figura 2. Há duas razões para isso, segundo Castro: o acesso aos recursos energéticos não renováveis é um deles. Baseados em suas vantagens competitivas, os países detentores de tais fontes passaram a estruturar complexas cadeias produtivas a fim de atender a demanda por energia elétrica do país e setores de suas economias. (CASTRO, *et.al*, 2019, p. 2).

Já a segunda razão é dada pela importação e exportação dessas fontes de forma facilitada após uma estruturação desses mercados internacionais, resultando por um lado em importação por parte de países dependentes dos insumos e, por outro lado, exportação advinda dos países com excesso destes. (Ibidem, p. 2).

Figura 2: Matriz elétrica mundial 2018

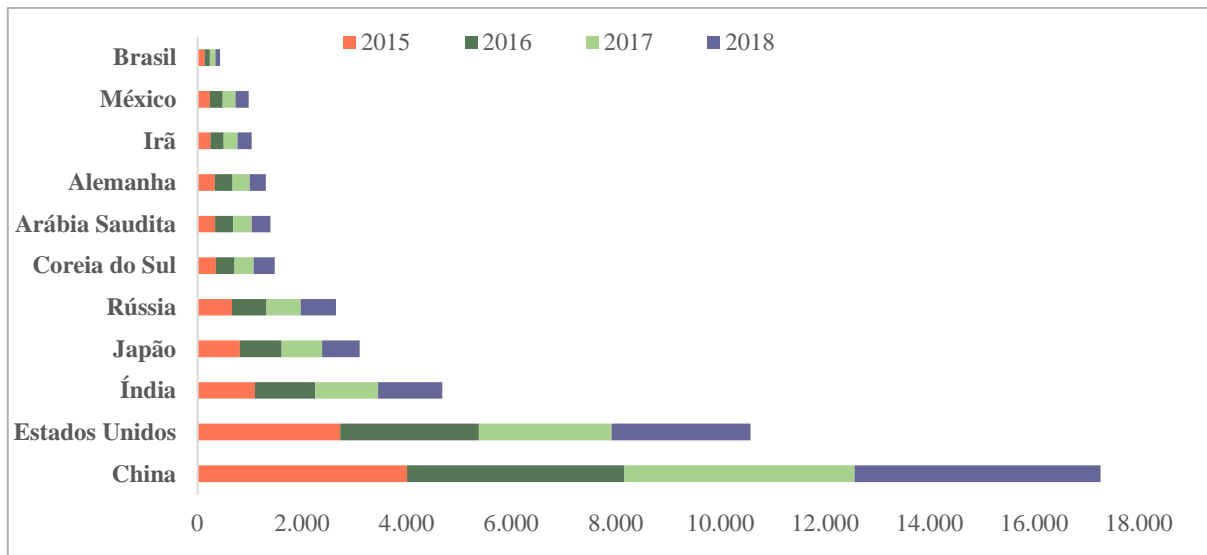


Fonte: IEA- Data and Statistics, 2021.

É possível notar, na figura 3, os maiores países em termos de geração térmica global através de fontes fósseis, que contribuem consideravelmente para o atual panorama da matriz

elétrica mundial. Podemos destacar, então, os países que mais colaboram para as grandes emissões de gases poluentes no mundo: China, Estados Unidos e Índia.

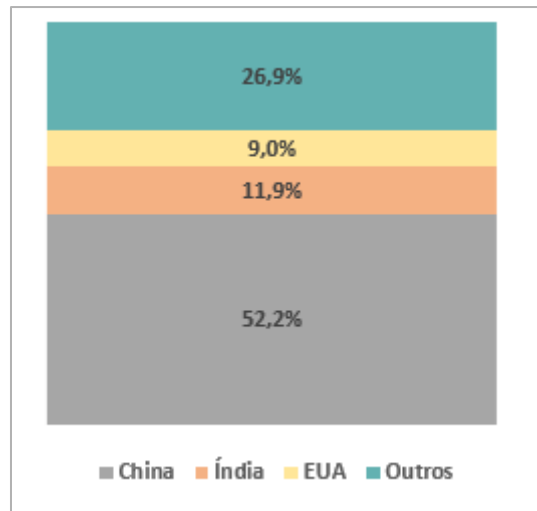
Figura 3: Geração térmica fóssil no mundo – 10 maiores países em 2018 (TWh)



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021 (EPE).

Os três principais países mencionados anteriormente possuem elevados níveis de consumo de carvão na geração elétrica, o que pode ser visto na figura 4. Juntos eles corresponderam a 73,1% do total do consumo global dessa fonte para gerar eletricidade em 2020. Sendo assim, é possível explicar a elevada participação desse combustível fóssil na matriz global, indo na contramão da lógica da descarbonização mundial. Segundo Castro e Alves: “Isso pode ser explicado pela alta participação do combustível na geração de três países que podem ser considerados peças-chave no processo de transição energética em função do tamanho de suas economias”. (CASTRO E ALVES, 2020, n.p).

Figura 4: Consumo de carvão para a geração elétrica por país em 2020 (em %)



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do BP Statistical Review of World Energy, 2021.

1.2. Evolução do Panorama Global

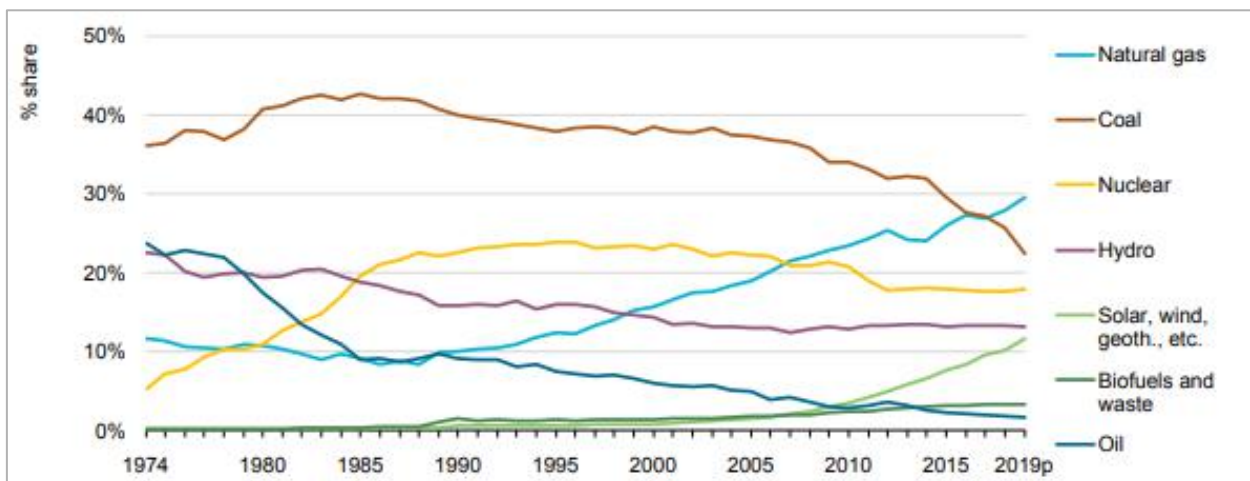
O processo de transição energética mundial ocorre sob a lógica dos chamados 3 D's, que são: descarbonização, digitalização e descentralização. Quanto à descarbonização, esse processo está ligado aos esforços para a diminuição da intensidade de carbono na economia e a substituição de fontes de energia provenientes de combustíveis fósseis, que são os maiores emissores de GEE, por fontes renováveis. (EPE, 2020, p. 43). Já a digitalização refere-se à interação das chamadas tecnologias de informação e comunicação (TIC), com o intuito de melhorar a comunicação e controle do sistema, fazendo com que a operação e o monitoramento possam ocorrer em tempo real e de forma automatizada. (EPE, 2020, p. 58). Por fim, a descentralização está alinhada com a geração distribuída, os consumidores passam a atuar ativamente no sistema. Podemos perceber uma relação entre eles e cada país:

“Estes três drivers têm, simultaneamente, dinâmicas diferentes entre si e também em cada contexto nacional, em função, entre outros fatores: do nível de desenvolvimento econômico, das taxas de crescimento da demanda de energia elétrica, dos desenhos de mercado, do grau de independências das agências reguladoras, das disponibilidades nacionais de fontes de recursos energéticos e, talvez o mais visível, da composição da matriz elétrica em termos de participação de fontes não renováveis.” (CASTRO, *et.al*, 2019, p.1).

De acordo com o estudo publicado pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2020), pode ser feita uma comparação da evolução observada na transição elétrica nos países membros da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) com os países não membros. No caso dos países membros da OCDE, é possível verificar, na figura 5, uma redução acentuada da participação do óleo na composição da matriz elétrica a partir de 1979, decorrente principalmente da busca pela redução da dependência dessa matriz após os choques do petróleo. Em consonância a isso, o carvão apresentou decréscimo constante a partir do final dos anos 80, saindo de mais de 40% de participação para menos de 30% em 2018.

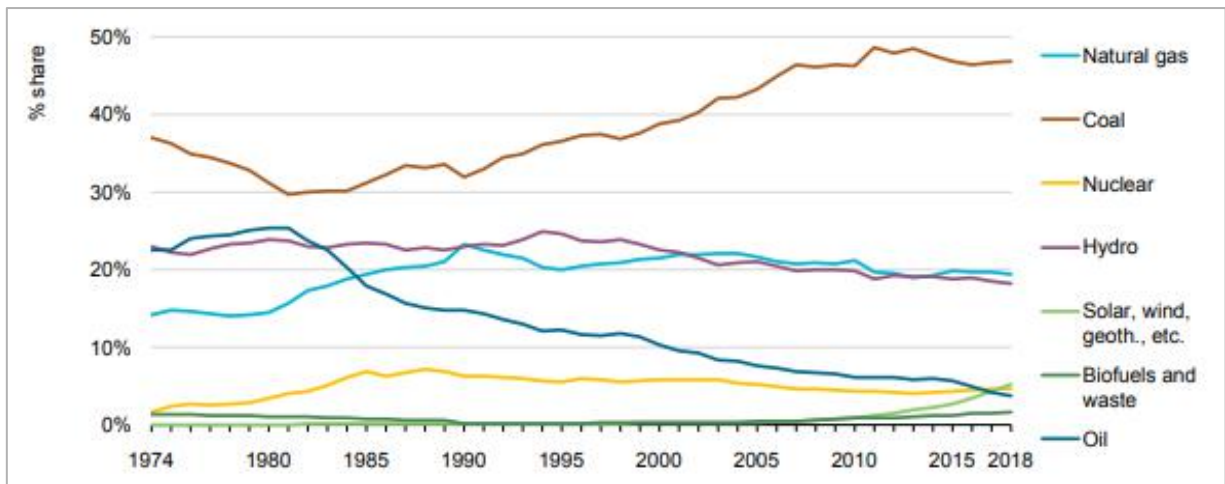
De forma oposta, o gás natural passou a crescer ano após ano, saindo de menos de 10% de participação para aproximadamente 30% em 2018. Uma importante observação pode ser verificada: a transição nos referidos países é intensificada a partir de 2008, quando as fontes solar, eólica e geotérmica adquirem entrada crescente na matriz.

Figura 5: Produção Bruta de Eletricidade membros da OCDE



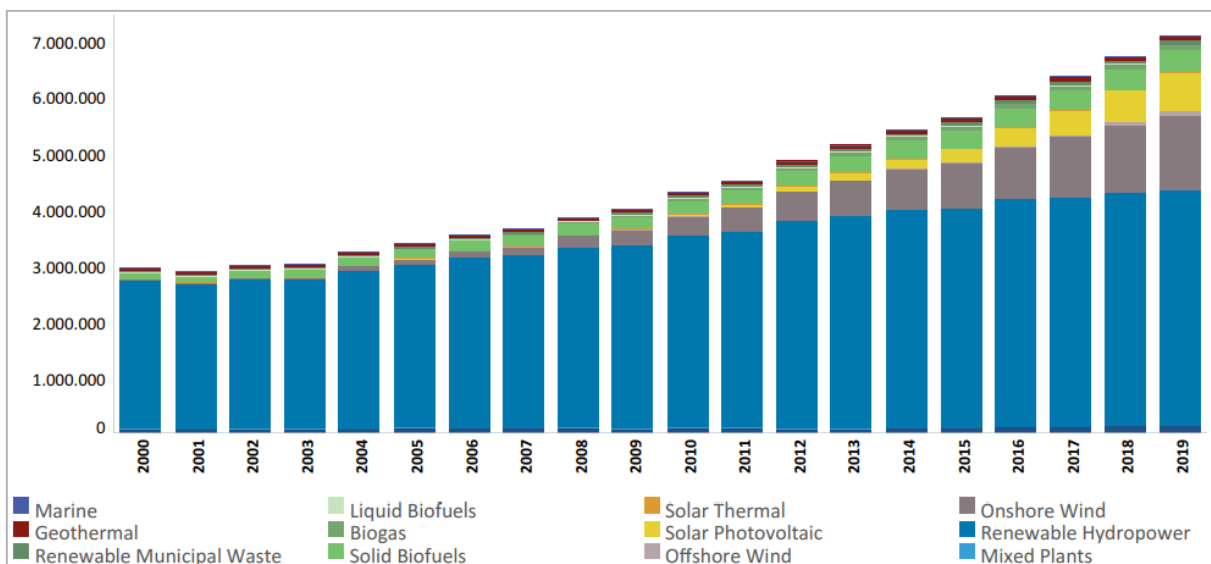
Fonte: IEA - Electricity Information Overview, 2020.

Do lado dos países não membros da OCDE, é possível identificar alguns aspectos, de acordo com a figura 6. Em grande oposição ao primeiro grupo de países, o carvão possui grande destaque na participação da matriz elétrica desses países menos desenvolvidos. Praticamente 50% da matriz estava apoiada nessa fonte até 2018, o que pode ser considerado alarmante. Além disso, um outro ponto de destaque é o atraso para o início de uma transição energética nesses países, que só começa a partir de 2012 após forte entrada das fontes solar, eólica e geotérmica, além de um crescimento dos biocombustíveis.

Figura 6: Produção Bruta de Eletricidade não membros da OCDE

Fonte: IEA - Electricity Information Overview, 2020.

Em uma perspectiva global, de acordo com a Agência Internacional para as Energias Renováveis (IRENA), na figura 7, analisando a geração mundial de eletricidade, houve um aumento das fontes renováveis na matriz, sobretudo a partir de 2010, em que a fonte solar passou a ganhar elevada participação no decorrer dos anos, além da eólica crescer fortemente. Esse aumento acelerado da participação das fontes renováveis na matriz pode ser justificado por meio da elevação das políticas governamentais de estímulo a essas fontes, consequências das metas de descarbonização elaboradas pelos países. (CASTRO E ALVES, 2020, n.p).

Figura 7: Geração global de eletricidade pelas fontes renováveis (GWh)

Fonte: IRENA, 2021.

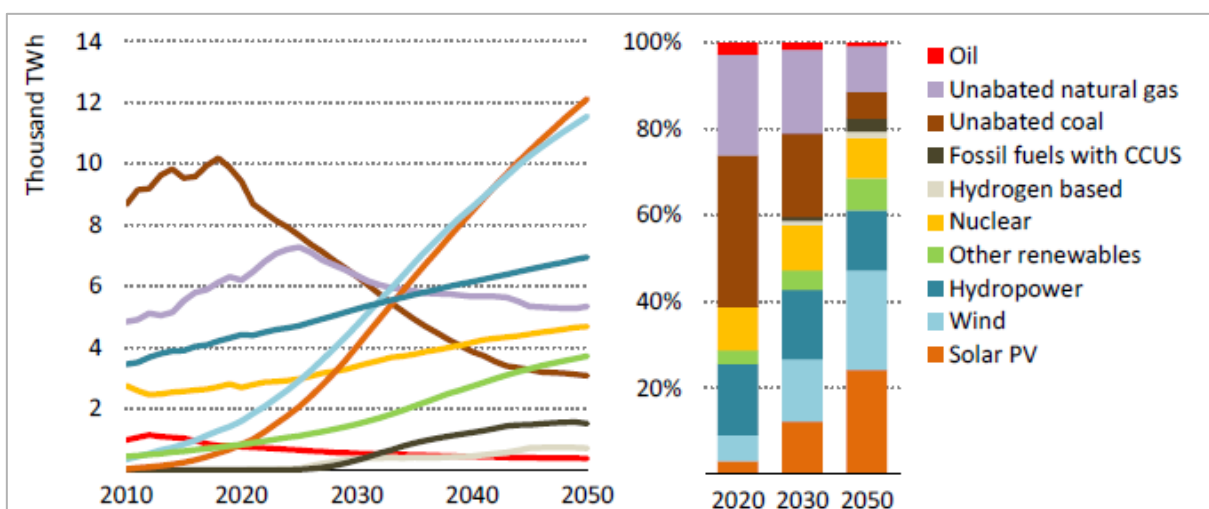
1.3. Tendências da Matriz Elétrica Mundial

O processo de transição energética em termos globais é dado pela busca da descarbonização das matrizes elétricas dos países através da redução do uso de fontes fósseis, que atualmente correspondem a grande parte da matriz, como foi visto anteriormente. Alinhado a isso está a elevação da participação de fontes renováveis e o papel importante empenhado pelo gás natural, que é um combustível fóssil menos emissor se comparado às demais fontes fósseis como carvão e óleo, na garantia de suprimento elétrico.

Em um horizonte até 2050, de acordo com as projeções feitas pela IEA na figura 8, é possível observar grandes mudanças na geração global de eletricidade, ratificando o atual panorama de descarbonização da matriz elétrica mundial, em que há aumento da participação das fontes renováveis em detrimento das fontes fósseis. (IEA, 2021, p. 46). Dessa forma, o gás natural é visto como um importante combustível de transição e sua participação é mantida elevada nas projeções, uma vez que terá um importante papel de garantia de suprimento em um cenário de elevação da intermitência do sistema através da ampliação das fontes renováveis. (CASTRO E ALVES, 2020, n.p).

Por outro lado, o carvão sofre quedas acentuadas chegando a aproximadamente 20% em 2050, vis a vis 70% em 2019. Mantendo o foco nos anos que seguem até 2030, é notável a explosão de crescimento verificada pelas fontes renováveis eólica e solar, que ultrapassam a participação da fonte hídrica, tendência que continuará nos anos posteriores. Nesse aspecto, as fontes renováveis e o gás natural serão responsáveis por aproximadamente 65% da geração global em 2030 e aproximadamente 75% em 2050.

Figura 8: Geração global de eletricidade por fonte



Fonte: IEA - Net Zero by 2050, 2021.

Notas: (1) outras energias renováveis = marinha, heliotérmica e geotérmica;

(2) O Caso de Promessas Anunciadas (APC), considerado nesse gráfico, assume que todas as promessas nacionais de emissões líquidas zero são cumpridas integralmente e dentro do prazo.

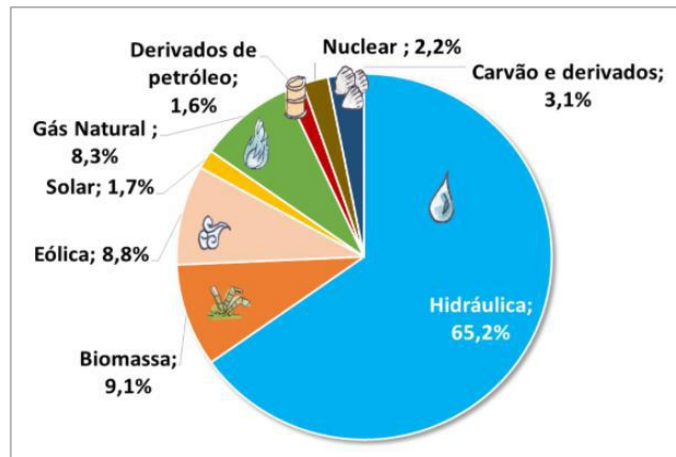
1.4. Matriz Elétrica Brasileira

Em primeiro lugar é importante ressaltar que o setor elétrico brasileiro é distinto do mundial principalmente por não ser o setor que apresenta maiores emissões de CO₂ no país.

“Uma particularidade no caso brasileiro na questão das mudanças climáticas é a grande participação do desmatamento associado à pecuária extensiva. Um hectare desmatado abriga um boi que emite cerca de 150 toneladas de carbono, equivalente a emissão de mais de 100 automóveis.” (CASTRO, *et. al.*, 2020, p. 30).

Isso exposto, o Brasil possui uma matriz elétrica majoritariamente renovável, composta por mais de 80% de fontes renováveis, como pode ser visto na figura 9, em virtude da abundância de recursos naturais. Grande parte de sua matriz é constituída de energia proveniente de usinas hidrelétricas, nesse aspecto, é considerado um país atípico se comparado ao panorama mundial, que foi visto na seção anterior. De acordo com o Instituto E+ Transição Energética:

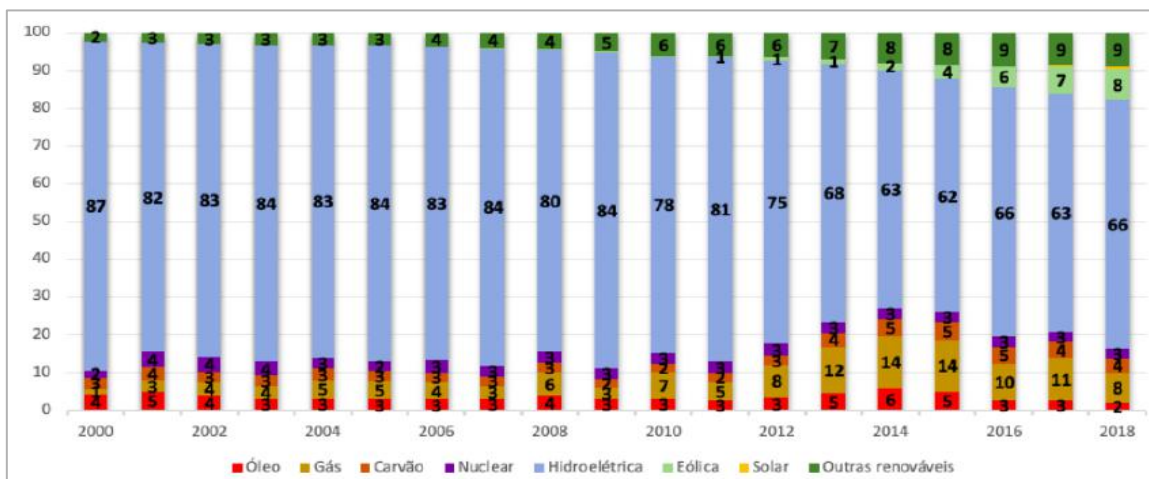
“O Brasil parte de uma posição privilegiada na transição energética pois já conta atualmente com uma matriz elétrica renovável, o que permite “pular” a etapa de descarbonização da sua matriz elétrica. A disponibilidade de recursos energéticos para suprir a demanda crescente também não é uma preocupação, pelo contrário. A diversidade e a profusão dos recursos energéticos no País são uma vantagem crucial para estabelecer seus próprios caminhos e garantir um papel de liderança na transição energética.” (E+, 2020, p. 14).

Figura 9: Matriz elétrica brasileira 2020

Fonte: EPE - Balanço Energético Nacional, 2021.

1.5. Evolução do Panorama Brasileiro

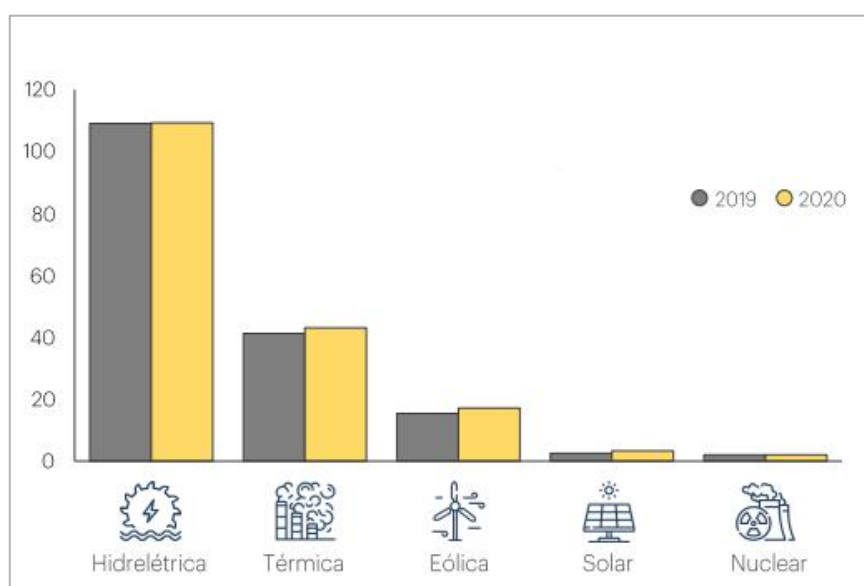
Ao longo dos anos a matriz elétrica brasileira apresentou, como é possível notar na figura 10, uma grande presença de hidrelétricas com reservatórios como fonte de geração elétrica. Essa fonte, por sua vez, é renovável, gerando um baixo nível de emissões de poluentes, uma vez que as termelétricas só eram acionadas por alguns motivos, como: atender picos de demanda por eletricidade, momentos de escassez hídrica devido à falta de chuvas e diminuição dos níveis dos reservatórios, funcionando como backups do sistema.

Figura 10: Participação da geração elétrica por fonte no Brasil (%)

Fonte: Castro *et. al.*, 2020.

Entretanto, olhando para a última década é possível verificar uma redução da geração hídrica na matriz referida, caracterizando uma tendência de mudança do paradigma operativo do sistema elétrico brasileiro. Vem ocorrendo, então, no âmbito da geração elétrica, uma diminuição da participação das hidrelétricas e aumento das termelétricas, além do incremento proveniente de fontes renováveis alternativas. Uma explicação para esse cenário reside no esgotamento natural dos melhores potenciais de geração hídrica e por conta de restrições ambientais a projetos hidrelétricos com grandes reservatórios. (CASTRO E ALVES, 2020, n.p).

Figura 11: Capacidade Instalada em TW no Brasil (2019 - 2020)



Fonte: EPE – Balanço Energético Nacional, 2021.

A capacidade instalada total apresentou uma evolução de 2,7% entre 2019 e 2020, apresentando 174.737 GW segundo o Balanço Energético Nacional 2021 publicado pela EPE (EPE, 2021, p. 44). A maior contribuição para esse crescimento foi apresentada pelas fontes solar e eólica, com 32,9% e 11,4% de variação, respectivamente. Nesse sentido, é importante ressaltar a notória mudança que o Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) vem enfrentando nos últimos anos através da difusão dessas fontes renováveis alternativas. Segundo Castro e Alves: “A diminuição dos preços associados a estas fontes e o alto potencial do país para a exploração fizeram com que estas fontes experimentassem um aumento significativo em termos de participação na matriz elétrica do país”. (CASTRO E ALVES, 2020, n.p).

1.6. Tendências da Matriz Elétrica Brasileira

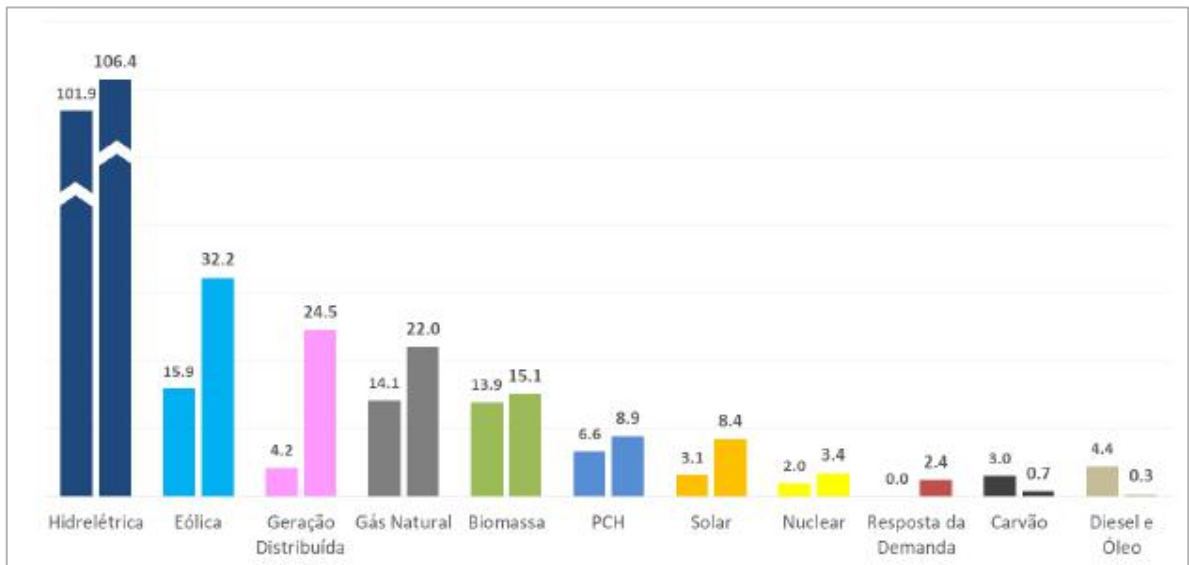
Em consonância com o processo de transição elétrica mundial, o Brasil deverá enfrentar uma maior diversificação em sua matriz elétrica, através da elevação da participação de fontes renováveis alternativas. Por conta desse novo paradigma, as projeções realizadas pela EPE mostram um papel estratégico da geração termelétrica nos próximos anos, no sentido da garantia da oferta de energia no país. (Castro *et. al*, 2020, p. 7).

De acordo com os dados divulgados pela EPE no Plano Decenal de Expansão de Energia 2030, é possível observar um aumento significativo das fontes térmicas e renováveis, de acordo com a figura 12. Nesse aspecto, as projeções indicam que a matriz brasileira continuará apresentando predominância de fontes renováveis, mas a partir do novo paradigma de uma maior geração a partir das renováveis alternativas, entretanto ainda com grande destaque para a geração hídrica no país.

Além disso, dentre as fontes renováveis, a projeção para a fonte eólica indica aumento de 102,5% entre 2020 e 2030, saindo de 15,9 GW para 32,2 GW de capacidade instalada, sendo o maior incremento observado. Essa fonte tem sido alvo de maciços investimentos em energia renovável nos últimos anos e a tendência é que sua relevância seja aumentada nos próximos anos. (CASTRO E ALVES, 2020, n.p). A fonte solar, por sua vez, apresenta 8,4 GW de capacidade instalada projetada, possuindo, então, um expressivo crescimento.

Ainda de acordo com a EPE, devido ao aumento da intermitência na matriz, o gás natural apresenta uma expectativa de expansão de 56% em 2030 por sua maior viabilidade no horizonte de tempo analisado. Nesse sentido, esse aumento ocorrerá devido a necessidade de garantia de suprimento e confiabilidade no sistema elétrico brasileiro, como será analisado com maiores detalhes no capítulo 3 deste trabalho. Dessa forma, a matriz elétrica brasileira continuará sendo relativamente limpa em um panorama mundial, garantindo uma posição de destaque em termos de geração elétrica mais limpa, com dois grandes pontos importantes: crescimento substancial da geração por meio das fontes eólica e solar e aumento da geração por meio das termelétricas movidas a gás, que apresentam menores emissões de poluentes dentre as demais fontes fósseis.

Figura 12: Variação entre a capacidade instalada inicial e com a expansão do PDE 2030 por tecnologia – em GW



Fonte: EPE – PDE 2030, 2021.

Notas:

- (1) Dados de dezembro de 2020 e 2030;
- (2) Gás natural inclui gás de processo;
- (3) Para fins de exibição as barras de Hidrelétricas tiveram sua escala ajustada, entretanto os valores mostrados correspondem à capacidade instalada;
- (4) Não inclui a parte paraguaia da usina de Itaipu.

CAPÍTULO 2 – CARACTERÍSTICAS DO GÁS NATURAL E SUA RELAÇÃO COM AS TERMELÉTRICAS

2.1. Breve Histórico do Gás Natural no País

O gás natural é uma fonte de energia versátil, formado por uma mistura de diversos hidrocarbonetos. Sua origem vem da decomposição de matéria orgânica armazenada em algumas rochas chamadas de reservatórios, que são presas por outras rochas selantes, não permitindo a passagem dos gases para a superfície. À vista disso, esse gás possui ampla importância pois pode ser utilizado para atender demandas de diversos setores, como o industrial, residencial, energético, de transportes e comercial. (TOLMASQUIM, 2016, p. 36).

No Brasil, o princípio da indústria do gás natural ocorreu somente no início do século XX, com a descoberta dessa fonte em 1922 no Paraná. Entretanto, pela falta de tecnologia, qualificação dos profissionais e dificuldade de inserir o novo combustível na matriz energética, a indústria não foi muito desenvolvida nessa época. Outro fator que contribuiu para esse baixo desenvolvimento foi a ausência de investimentos por um longo período em detrimento dos altos capitais investidos no setor petrolífero. (SANTOS; NETTO; PEYERL, 2020, p. 11). “Somente na década de 1960 o Brasil inaugura uma nova fase, tanto no processo de industrialização, como em investimento na plataforma continental por meio da Petrobras, empresa estatal instituída em 1953”. (Ibidem, p. 11).

Em 1939 ocorreu a descoberta do gás natural na Bahia, gerando estímulo para a exploração e comercialização desse combustível fóssil no país. Na década de 1970, um acontecimento marca o país - a crise do petróleo - desencadeando investimentos para uma maior participação do gás natural na matriz energética nacional. (Ibidem, p. 21). Segundo Pinto Jr.:

“A indústria do gás natural pode ser considerada uma indústria antiga, cuja difusão foi tradicionalmente dificultada pela concorrência interenergética e pelos custos elevados do transporte. Entretanto, os choques do petróleo da década de 1970 desencadearam um processo de profundas transformações dos mercados energéticos internacionais, abrindo espaço para o gás natural assumir um novo papel nestes mercados.” (PINTO JR., 2016, p. 233).

Nesse aspecto, a crise causou um imperativo para a redução da dependência do petróleo provindo da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) tanto no país quanto no

resto do mundo, viabilizando o crescimento do gás natural na matriz energética nacional e mundial na passagem para o século XXI. Iniciou-se, então, o deslocamento de forma progressiva do papel central assumido no século XX pelo petróleo. (PINTO JR., 2016, p. 233). Porém, apesar da crise, o gás ainda possuía um papel secundário na matriz energética. O aumento gradativo do interesse por essa fonte e sua ampliação crescente na matriz energética nacional concentrou-se em três marcos principais: a exploração de gás natural na Bacia de Campos, a construção do Gasoduto Bolívia-Brasil (GASBOL) e a descoberta das reservas de pré-sal. (SANTOS; NETTO; PEYERL, 2020, p. 11 - 13).

Em relação ao primeiro marco, a insegurança de suprimento que a crise do petróleo trouxe para o Brasil levou a grande necessidade de diminuir a dependência de importação do petróleo, o que gerou, na década de 1980, o início da produção e exploração do gás natural em áreas *offshore* na Bacia de Campos, na região sudeste do país. (Ibidem, p. 34).

Quanto ao segundo marco, o Brasil e a Bolívia entraram em um acordo, em 1966, para a construção do GASBOL, com a finalidade de fornecer gás natural da Bolívia para os territórios nacionais. O início da operação ocorreu apenas em 1999 e seus objetivos eram: i) estimular a industrialização no interior do sudeste brasileiro; ii) reduzir os impactos ambientais, principalmente com a substituição do petróleo e outros combustíveis mais poluentes pelo gás natural; iii) fornecer o combustível como suprimento para as futuras termelétricas movidas a gás; e iv) diversificar o mercado consumidor do gás provindo da Bolívia. (Ibidem, p. 22).

Por fim, tratando do terceiro marco, a descoberta do pré-sal brasileiro ocorreu em 2006, na costa do sudeste, modificando o rumo e a participação do gás natural de forma permanente em vários setores da economia, visto que havia uma grande quantidade desse recurso (além de petróleo) nessas reservas. Contudo, é importante ressaltar que a exploração do pré-sal atualmente ainda é cheia de desafios, uma vez que possui limitações como a grande distância da costa e enormes concentrações de dióxido de carbono. (Ibidem, p. 22).

Dessa forma, com os marcos mencionados anteriormente o país passou a apresentar um crescimento gradativo na oferta do combustível, no consumo e na comercialização, expandindo a indústria de gás natural brasileira com o passar dos anos, apesar de ainda ser considerada menos desenvolvida comparativamente à indústria petrolífera.

2.2. Panorama Nacional e Projeções

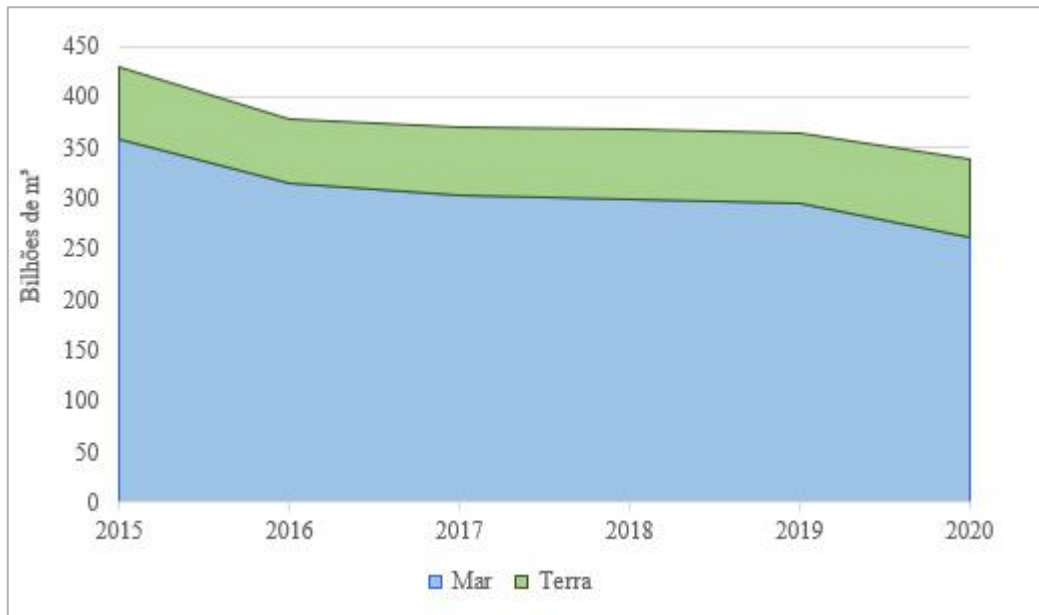
O conhecimento acerca do panorama e estimativas do gás natural no Brasil possui suma importância para a compreensão e análise do papel que essa fonte de energia possui para a segurança de suprimento e diversificação da matriz elétrica. Nesse sentido, são tratados três aspectos relacionados ao gás natural: as reservas provadas, produção e demanda. Estes últimos apresentam estimativas de crescimento entre 2021 e 2030, reafirmando o importante papel do gás natural como fonte de energia nos próximos anos.

No que tange às reservas provadas, em 2020, o Brasil ocupou o 33º lugar no *ranking* de maiores reservas provadas de gás natural do mundo. (ANP, 2021, p. 41). Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP):

“As reservas provadas são aquelas que, com base na análise de dados geológicos e de engenharia, se estima recuperar comercialmente de reservatórios descobertos e avaliados, com elevado grau de certeza, e cuja estimativa considere as condições econômicas vigentes, os métodos operacionais usualmente viáveis e os regulamentos locais instituídos pela legislação petrolífera e tributária. Já as reservas totais representam a soma das reservas provadas, prováveis e possíveis”. (Ibidem, p. 70).

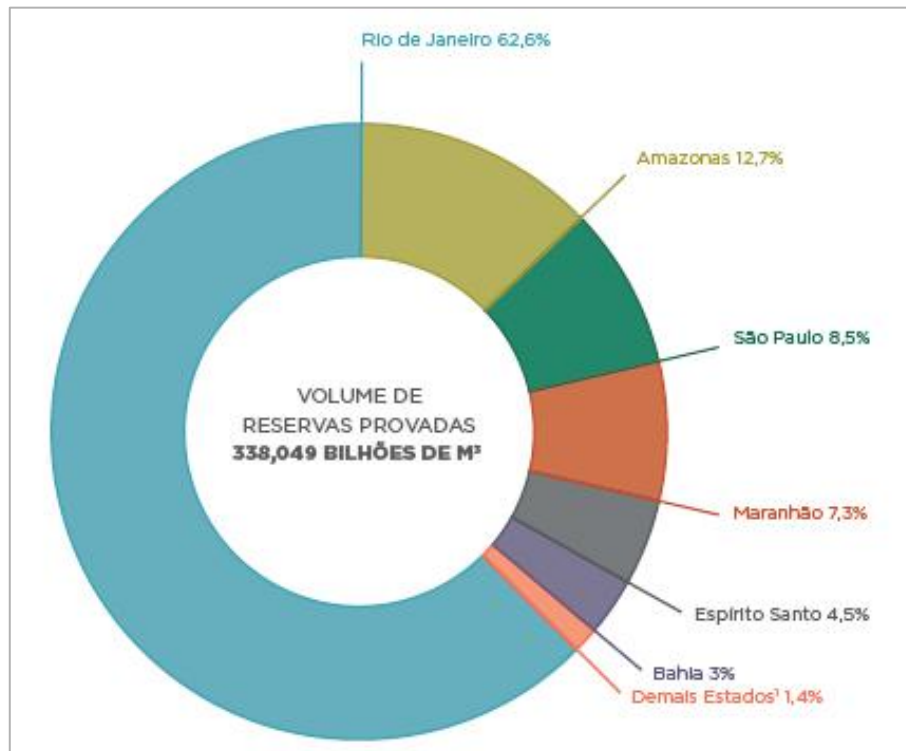
No Brasil, geralmente o gás natural é encontrado associado ao petróleo, tanto que a maior parte das reservas provadas brasileiras dessa fonte estão localizadas no mar e não em terra, como é possível notar na figura 13. Já no que se refere à distribuição por regiões, as reservas do sudeste ganham o maior destaque, correspondendo a 75,6% em 2020. Somente o Rio de Janeiro concentra 62,6% das reservas provadas, como mostra a figura 14.

Figura 13: Evolução das Reservas Provadas de Gás Natural em Terra e Mar - (2015-2020)



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da ANP, 2021.

Figura 14: Distribuição percentual das reservas provadas de gás natural, segundo Unidades da Federação - 31/12/2020



Fonte: ANP - Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2021, p. 75.

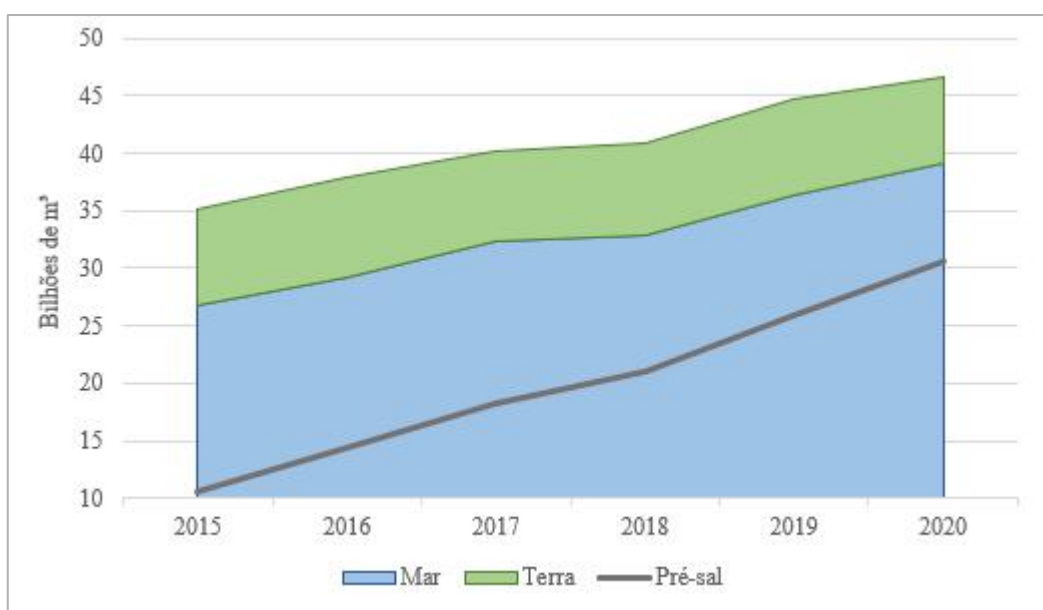
Nota: ¹Inclui Alagoas, Rio Grande do Norte e Sergipe.

A produção de gás natural nacional, por sua vez, está relacionada em grande parte aos resultados provenientes da Petrobrás, uma vez que essa empresa é a maior concessionária e operadora de blocos de petróleo e gás natural em território brasileiro. No ano de 2020, ela foi a concessionária que mais produziu gás natural, com 75,2% de participação no total da produção do país. Já como operadora, sua produção apresentou 95,1% do total de gás natural. (ANP, 2021, p. 76).

Entre 2019 e 2020, a produção de gás natural aumentou 4,3%, totalizando 46,6 bilhões de m³ em 2020, somente os campos em mar foram responsáveis por 84% dessa produção. Nesse aspecto, o pré-sal foi responsável por 65,7% da produção total dessa fonte no Brasil, contribuindo para o país ter conquistado a 30ª posição no *ranking* mundial de produtores de gás natural. (Ibidem, p. 83). Na figura 15 é possível notar a trajetória de crescimento da produção nacional.

Quanto aos estados, o Rio de Janeiro foi o que apresentou maior volume de produção em 2020, totalizando 29,6 bilhões de m³, equivalente a 63,4% da produção total do país e 75,5% da produção total em mar. Além disso, o estado de Alagoas foi o responsável pela liderança da produção nacional de gás em terra, com 5 bilhões de m³, correspondendo a 66,3% do total de gás produzido em terra. (Ibidem, p. 83).

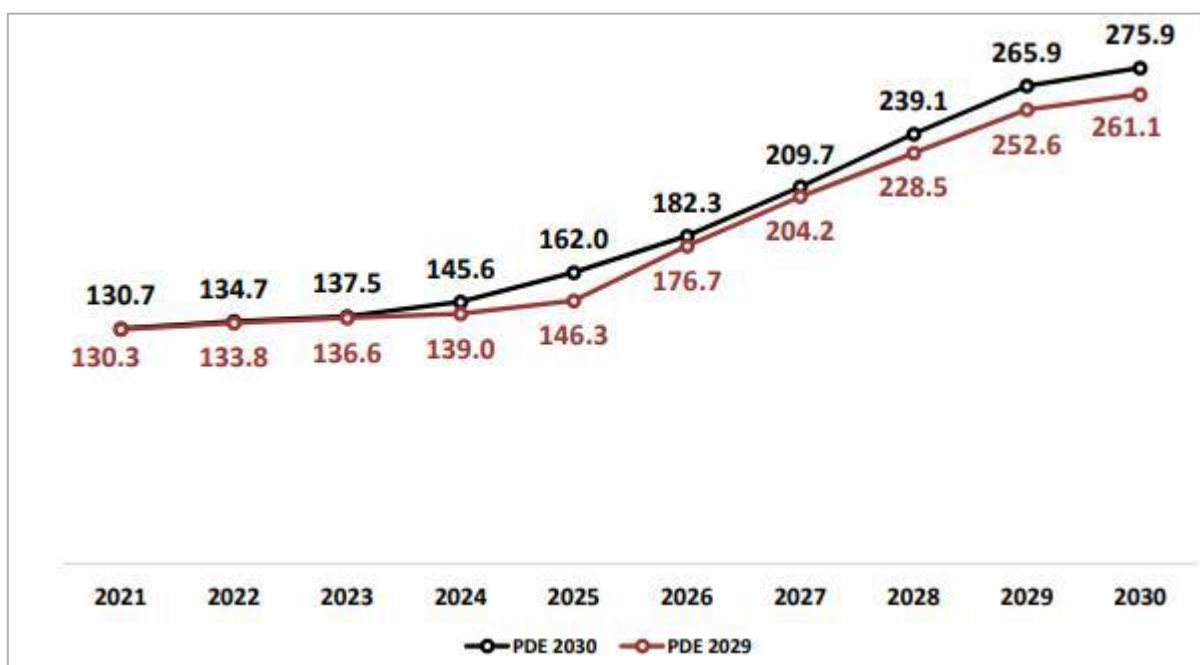
Figura 15: Produção nacional de gás natural por ambiente de E&P – 2015 a 2020



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da ANP, 2021.

As projeções elaboradas pela EPE no Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (PDE 2030) indicam um grande crescimento da produção bruta diária de gás natural, ou seja, da produção total antes dos descontos de consumo próprio, injeção, queima e perdas. Dessa forma, na figura 16 é possível notar que a trajetória de crescimento da produção de gás natural persiste até o horizonte temporal de 2030. (EPE, 2021, p. 15).

Figura 16: Produção Bruta de Gás Natural Prevista – 2021 a 2030 (Milhões m³/dia)



Fonte: EPE (Caderno de Previsão de Produção de Petróleo e Gás Natural), 2020, p. 15.

É importante ressaltar que a maior parte do gás natural extraído dos reservatórios é associado ao petróleo, somente em 2020 o gás associado correspondeu a 84,8% da produção total. (ANP, 2021, p. 84). O aproveitamento do gás ocorre de três formas distintas: i) geração de energia na própria plataforma; ii) reinjeção no reservatório para expandir a recuperação do petróleo; e iii) transferência para uma unidade de processamento de gás natural (UPGN) para ser tratado e processado, com a finalidade de envio para os centros consumidores. (TOLMASQUIM, 2016, p. 54).

Além disso, a oferta total de gás no país corresponde à soma da produção nacional e importação via gasodutos e terminais de GNL. O total de gás natural importado em 2020 foi de 7,9 bilhões de m³, dos quais 83,2% do total foram provenientes da Bolívia e 16,8%

corresponderam às importações de gás natural liquefeito, que vieram dos Estados Unidos, Trinidad e Tobago e Argentina. (ANP, 2021, p. 134).

Ademais, a relação entre as reservas e a produção (R/P) atingiu 7,2 anos em 2020. Isso significa que, se o ritmo de produção de gás natural for mantido como atualmente, as atuais reservas provadas de gás do país se esgotariam em 7,2 anos, aproximadamente. (Ibidem, p. 83). Dessa forma, isso mostra a necessidade de maiores investimentos na exploração do gás natural e abertura de novas fronteiras, como será visto no capítulo 3, que detalha os principais desafios relacionados ao desenvolvimento da indústria de gás natural no país.

Em relação à demanda por gás natural em 2020, a maior parte provém do setor industrial, que corresponde a 50,01% do total, seguido pelo setor de geração elétrica, responsável por 36,18% do total, de acordo com a figura 17, que mostra a relevância desses setores para a indústria de gás natural nacional. (MME, 2021, p. 2). Ademais, é possível perceber uma tendência de desaceleração na demanda e uma queda acentuada no ano de 2020, que foi sobretudo gerada pela desaceleração econômica causada pelo advento da COVID-19.

Figura 17: Demanda média por gás natural nos diferentes setores (em milhões de m³/dia)

Setores	Média 2015	Média 2016	Média 2017	Média 2018	Média 2019	Média 2020
Industrial	43,61	40,82	40,77	39,75	36,97	36,05
Geração Elétrica	45,90	29,59	34,25	27,69	29,03	26,08
Automotivo	4,82	4,96	5,40	6,06	6,26	5,15
Cogeração	2,50	2,37	2,65	2,84	2,65	2,17
Residencial	0,97	1,11	1,18	1,26	1,27	1,38
Comercial	0,79	0,83	0,78	0,84	0,91	0,67
Outros (inclui GNC)	0,04	0,58	0,53	0,40	0,83	0,58
Total	98,63	80,26	85,56	78,85	77,93	72,08

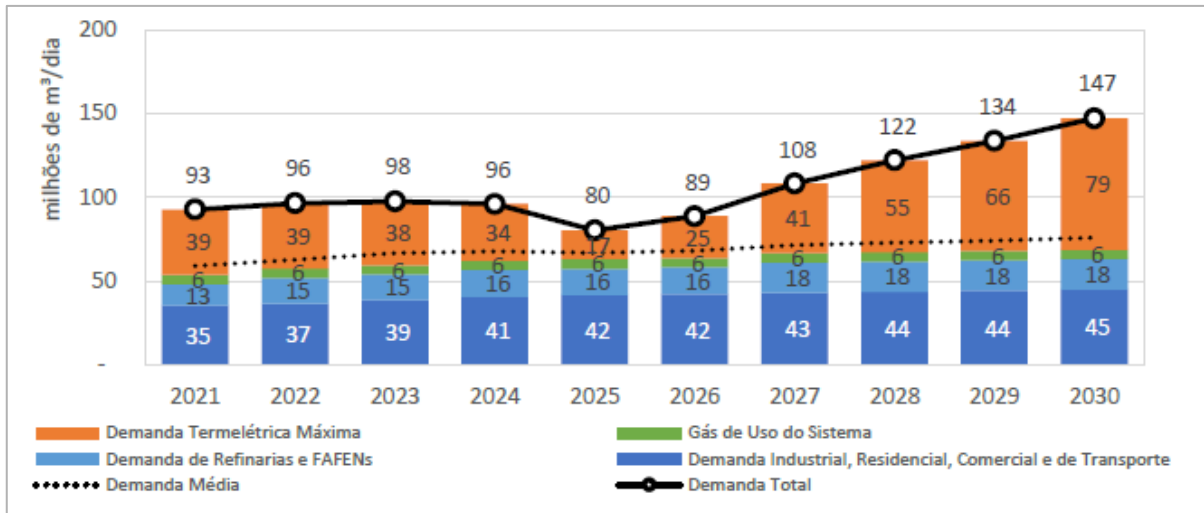
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da MME - Boletins Mensais de Acompanhamento da Indústria de Gás Natural.

Nota: Industrial inclui consumo de refinarias, fábricas de fertilizantes e uso do gás como matéria-prima

Por outro lado, quanto às estimativas dadas pela EPE, na figura 18 verifica-se que a demanda total de gás natural apresenta uma trajetória de crescimento, sendo importante ressaltar que a demanda prevista para 2030 mostra uma expansão de aproximadamente 58% comparativamente a 2021, além da demanda termelétrica máxima de gás natural ampliar

consideravelmente, salientando uma tendência de recuperação da pandemia. (EPE, 2021, p. 237).

Figura 18: Projeção da demanda por gás natural (malha integrada), em milhões de m³/dia



Fonte: EPE - PDE 2030, 2021, p. 237.

Nota: A demanda termelétrica máxima refere-se às UTEs existentes, incluindo também o término de contratos ao longo do decênio, bem como a contratação de novos projetos de forma indicativa.

2.3. Termelétricas Movidas a Gás Natural

Como foi visto anteriormente no capítulo 1, o sistema elétrico nacional é caracterizado como um sistema hidrotérmico de grande porte, possuindo a predominância da geração elétrica através das usinas hidrelétricas. As usinas termelétricas, por sua vez, são caracterizadas pela ANEEL como “instalação de produção de energia elétrica a partir do aproveitamento da energia térmica obtida pela combustão de um combustível fóssil ou biomassa.” (ANEEL, 2020, p. 3). Assim sendo, as usinas termelétricas movidas a gás utilizam o gás natural como fonte para a produção de energia elétrica. Estas usinas possuem um importante papel ao complementar a geração hidrelétrica, atender na ponta e fornecer energia na base, proporcionando uma flexibilidade operativa ao SIN, visto que são fontes despacháveis, ou seja, são capazes de fornecer energia no momento em que o sistema achar necessário. Funcionando, dessa maneira, como um seguro em período de escassez hídrica e permitindo uma maior inserção de fontes

alternativas, como será visto com maiores detalhes no capítulo 3. Segundo o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA):

“Ao que tudo indica, poder público e setores empresariais têm apontado as usinas termelétricas como opção tecnológica preferencial. Os leilões recentes contrataram grandes quantidades de energia proveniente de usinas a gás natural. Além disso, verifica-se um conjunto de iniciativas na direção de um “novo mercado de gás”, o que acaba por pressionar pelo crescimento da geração termelétrica pari passu à exploração das reservas do pré-sal e, até mesmo, à importação de gás natural liquefeito (GNL)”. (IEMA, 2021, p. 12).

Nesse sentido, as termelétricas movidas a gás estão em grande expansão no sistema elétrico brasileiro, fazendo-se necessário um maior detalhamento acerca da estrutura da cadeia de gás natural que proporciona o atendimento às termelétricas e, por fim, os aspectos econômicos associados a essa temática.

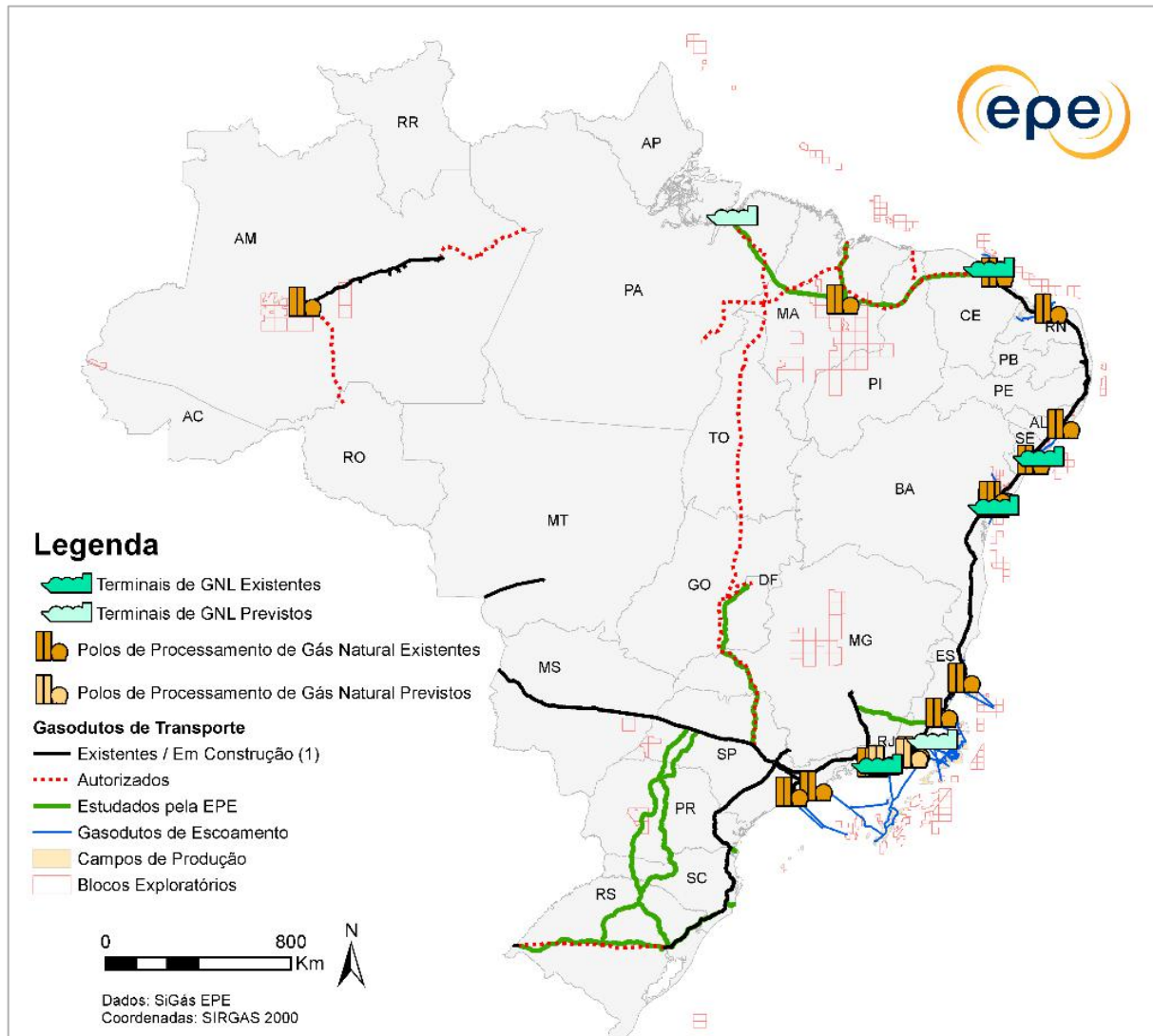
No que concerne ao primeiro ponto, a estrutura da cadeia de gás natural com a finalidade de abastecimento das termelétricas está dividida em:

- (i) Unidades de processamento de gás natural (UPGNs);
- (ii) Transporte do combustível através de dutos;
- (iii) Gás natural liquefeito (GNL); e
- (iv) Estocagem subterrânea.

No Brasil, atualmente a produção e processamento de gás natural utiliza uma infraestrutura que abrange 16 polos de processamento, com aproximadamente 116 milhões de metros cúbicos de capacidade por dia. (EPE, 2021, p. 232). O gás natural uma vez encontrado e produzido, passa por essas UPGNs para ser tratado, isto é, o gás é purificado antes de ser comercializado através dos sistemas de gasodutos de transporte e distribuição. (PINTO JR., 2016, p. 236).

Quanto à malha nacional de gasodutos para o transporte, possui uma extensão total de 9.409 km, distribuídos por todo o território nacional. Adicionalmente, no país também utiliza-se gás natural importado por meio de 3 gasodutos de transporte internacionais ou sob a forma de GNL por meio de 4 terminais de regaseificação existentes. A figura 19 a seguir apresenta a infraestrutura mencionada anteriormente, assim como os projetos em construção no país. (EPE, 2021, p. 232).

Figura 19: Infraestrutura de oferta e transporte de gás natural existente, em construção e prevista



Fonte: EPE (PDE 2030), 2021, p. 233.

Já a figura 20 retrata a capacidade nominal de processamento de gás natural dividido por regiões do Brasil. Nesse aspecto, a região Sudeste, Nordeste e Norte do país possuem uma concentração da capacidade de aproximadamente 51%, 41% e 15%, respectivamente.

Figura 20: Unidades de Processamento de Gás Natural no Brasil

Polos produtores	Município (UF)	Início de operação	Capacidade nominal 2020 (MM m³/dia)
Urucu	Coari (AM)	1993	12,20
Lubnor	Fortaleza (CE)	1987	0,35
Guamaré	Guamaré (RN)	1985	5,70
Alagoas	Pilar (AL)	2003	1,80
Atalaia	Aracaju (SE)	1981	3,00
Candeias	Candeias (BA)	1972	2,90
Santiago2	Pojuca (BA)	1962	2,00
Estação Vandemir Ferreira	São Francisco do Conde (BA)	2007	6,00
Cacimbas	Linhares (ES)	2008	18,10
Sul Capixaba	Anchieta (ES)	2010	2,50
Reduc	Duque de Caxias (RJ)	1983	5,00
Cabiúnas	Macaé (RJ)	1987	25,16
RPBC	Cubatão (SP)	1993	2,30
Caraguatatuba	Caraguatatuba (SP)	2011	20,00
Caburé	Caburé (BA)	2020	0,50
Eneva*	Santo Antônio dos Lopes (MA)	2013	8,50
Total			116,01

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do MME - Informações complementares ao boletim mensal de acompanhamento da indústria de gás natural, p. 3.

É importante ressaltar que a oferta deste energético no país depende da existência de gasodutos para que seja feito o escoamento da produção, das unidades de processamento tratadas acima e, por fim, dos gasodutos de transporte. Vale destacar que essa questão relacionada à malha de gasodutos existentes no país é alvo de grandes desafios, visto que sua infraestrutura ainda é incipiente no país, o que será tratado posteriormente no capítulo 3.

Ademais, as bacias que são localizadas em terra detêm a possibilidade da construção de usinas termelétricas na “boca do poço”, ou seja, instalação dessas usinas nas regiões dos campos produtores de gás natural, extinguindo, assim, a exigência de gasodutos para o transporte do energético. De acordo com Tolmasquim, esse tipo de construção se trata de uma decisão econômica:

“Nesses casos, pode ocorrer a redução de custos de investimento em processamento e de transporte a depender das características do gás natural produzido e da distância entre o campo de produção e os centros consumidores. Em oposição, existem os custos de transmissão de eletricidade, caso o consumo da energia gerada não ocorra localmente. Vale ressaltar que a geração de energia localmente não dispensa os custos relacionados à distribuição do gás natural, cuja exploração comercial é exclusiva dos estados da federação, de acordo com o artigo 25 da Constituição brasileira.” (TOLMASQUIM, 2016, p. 64).

O gás natural liquefeito importado, por sua vez, possui como principal finalidade o atendimento às termelétricas movidas a gás, devido a uma maior flexibilidade na obtenção e utilização deste combustível. (TOLMASQUIM, 2016, p. 67). Como vimos anteriormente, o principal país que exportou GNL para o Brasil no ano de 2020 foi a Bolívia. Adicionalmente, a cadeia desse combustível corresponde às seguintes atividades: a) exploração, produção e processamento do gás natural; b) liquefação; c) transporte, d) armazenamento; e) regaseificação; f) distribuição ao mercado consumidor. Segundo Tolmasquim:

“Como esta demanda (de GNL) varia conforme o despacho destas usinas é possível que o Brasil tenha, além do próprio GNL, a necessidade de utilizar sítios de estocagem subterrânea de gás natural. Dessa forma, ao invés de estocar o gás natural na forma liquefeita nos navios metaneiros ou regaseificadores, pode-se regaseificar o GNL, armazenar o gás natural nestes sítios de estocagem e utilizá-lo apenas quando houver demanda.” (Ibidem, p. 67-68).

Nesse aspecto, a tecnologia de estocagem subterrânea de gás natural (ESGN) consiste em utilizar as formações subterrâneas para armazenar o gás natural para uma utilização posterior, sendo usada em vários países como Europa, Canadá, Rússia, Argentina, México, China e Turquia. A ESGN permite que os ofertantes dessa fonte, com intuito de fornecimento para as termelétricas, tenham a possibilidade de compra deste energético em situações de mercado que são mais favoráveis e utilizar quando for necessário para o despacho termelétrico. Portanto, como o Brasil é um tomador de preços no mercado internacional de GNL por conta da importação, o risco econômico das oscilações de preço pode ser diminuído, uma vez que esse gás pode ser comprado em momentos favoráveis e estocado para um futuro consumo. É importante destacar que essa é apenas uma forma de utilização da ESGN, podendo ser usada para atender os picos de demanda diários e otimizar a rede de gasodutos, por exemplo. (Ibidem, p. 68-69).

Entretanto, a ESGN no Brasil possui uma importância potencial muito grande, mas esta atividade ainda é incipiente no país, necessitando de maiores discussões acerca da regulamentação e possíveis incentivos à pesquisa e também à implementação desta atividade. (EPE, 2018, p. 9). Além disso, é válido ressaltar dois pontos: i) investimentos em ESGN são de longa maturação, o prazo estimado para a maturação e entrada em operação varia de cinco a dez anos; e ii) a instalação de um sítio de ESGN necessita de uma situação geológica favorável. (TOLMASQUIM, 2016, p. 70).

O segundo ponto, por fim, diz respeito aos aspectos econômicos associados à geração elétrica através das termelétricas movidas a gás natural. Nesse sentido, os custos que envolvem a geração de energia elétrica podem ser divididos entre custos de investimento, que são relacionados à construção do empreendimento e custos de geração decorrentes da operação da usina e produção de energia elétrica. (Ibidem, p. 93). Podemos dividir os custos entre:

i) Custos de investimento: englobam estudos de viabilidade e licenciamento ambiental, equipamentos, obras, conexão elétrica à rede de transmissão, entre outros;

ii) Custo de operação e manutenção (O&M): os que não variam de acordo com a eletricidade gerada são os custos chamados de fixos, enquanto os demais são chamados de variáveis. Os custos fixos envolvem encargos mensais de operação, mão de obra, manutenção preventiva programada, despesas gerais e administrativas, etc. Já os custos variáveis abarcam consumo e tratamento de água, paradas maiores nas centrais elétricas, etc;

iii) Custo do combustível: gasto para aquisição do gás natural, o que juntamente com o custo de O&M confere o fator de maior peso nos custos da geração elétrica;

iv) Custo nivelado: custo total para a produção de um *megawatthora* de energia elétrica, considerando custos de investimento e de geração (custo de O&M e custo do combustível), uma taxa de desconto refletindo a remuneração do capital investido e a vida útil do empreendimento. Nesse aspecto, esse custo possui a finalidade de ajudar a comparar diferentes tecnologias antes de iniciar os investimentos. (Ibidem, p. 93-96).

CAPÍTULO 3 – DIVERSIFICAÇÃO E SEGURANÇA NO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO ATRAVÉS DO GÁS NATURAL

3.1. Vantagens Comparativas do Gás Natural

Em primeiro lugar, conforme foi abordado no primeiro capítulo, a participação das hidrelétricas apresenta uma tendência decrescente ao longo dos anos, apesar de ainda manter a predominância na matriz elétrica brasileira. Essa dinâmica pode ser compreendida em virtude do fato de o potencial hídrico remanescente estar situado nas planícies da Região Amazônica. Dessa forma, as usinas hidrelétricas com reservatórios de acumulação de grande porte possuem baixa probabilidade de serem construídas, uma vez que a estocagem de energia seria limitada devido a pequena queda no trecho mais caudaloso dos rios da região. Simultaneamente, desde a promulgação da Constituição Federal de 1988 há uma maior rigidez na legislação ambiental, impossibilitando a construção de novas hidrelétricas com reservatórios de acumulação. “Desta forma, a expansão hídrica tem ocorrido baseada em usinas fio d’água e, por consequência, verifica-se uma redução da capacidade de regularização de sua oferta ao longo do ano. Logo, passa a existir a necessidade de diversificação da matriz elétrica brasileira”. (CASTRO; BRANDÃO; DANTAS, 2018, p. 7).

Alinhado a isso, foi discutido também no capítulo 1 sobre o aumento da participação das fontes renováveis na matriz elétrica do país não só nos últimos anos, mas também no horizonte temporal de 2030, principalmente no que tange às fontes eólica e solar. Essas fontes são caracterizadas como intermitentes e não podem ser despachadas a qualquer momento, uma vez que a fonte eólica produz energia elétrica através da disponibilidade e velocidade dos ventos, e a fonte solar depende da radiação do sol, cuja produtividade se relaciona com os movimentos dos planetas e condições meteorológicas. Assim, quanto mais elevada é a participação dessas fontes na matriz elétrica brasileira, mais elevada se torna a estocasticidade e intermitência na geração elétrica do país. Nesse sentido, o gás natural como combustível para a geração elétrica desempenha uma função cada vez mais essencial para que o sistema elétrico brasileiro possua estabilidade e segurança, dado que a variação da exposição solar, dos ventos e do regime de chuvas traz grandes incertezas ao despacho, e o gás natural, por sua vez, é uma fonte controlável, ou seja, pode ser despachada quando houver necessidade para o sistema elétrico nacional. (TOLMASQUIM, 2016, p. 68).

Como a oferta e demanda por energia elétrica necessita ser balanceada constantemente e em tempo real da operação do sistema elétrico, as termelétricas movidas a gás natural possuem

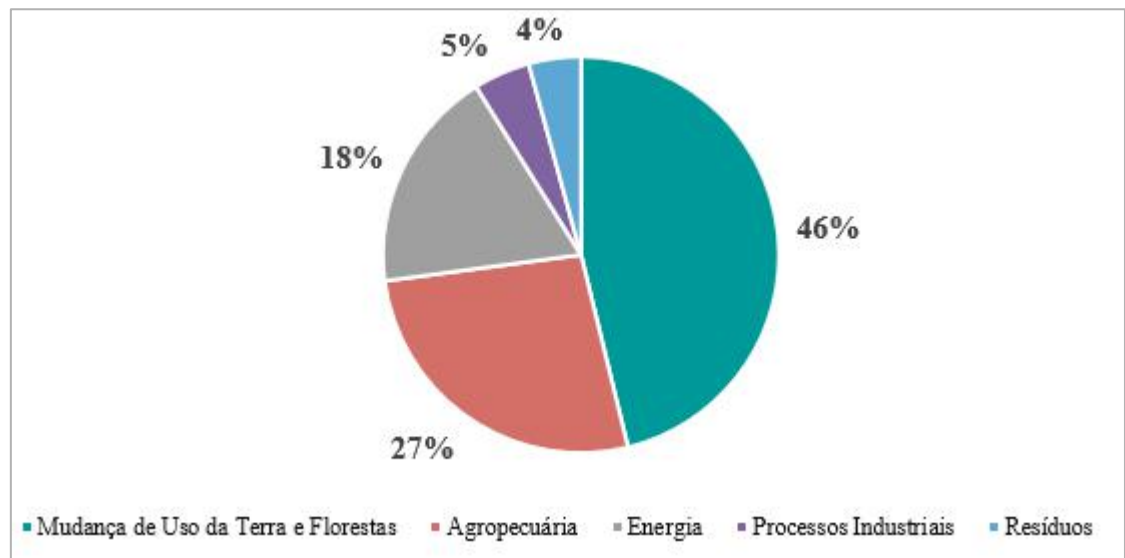
uma característica essencial: podem operar no atendimento em todo o espectro das curvas de carga. Isto é, seja no atendimento à ponta, variando sua produção de acordo com o nível de demanda por eletricidade, atendendo aos picos de demanda e servindo como *backup* para o sistema, seja operando na base, ou seja, em regime constante (excluindo as paradas para manutenção). Fornecem, desta maneira, complementaridade não só para as hidrelétricas, mas também para a expansão da geração através de fontes renováveis intermitentes, trazendo flexibilidade operativa ao SIN e apresentando um papel essencial no planejamento da expansão da energia elétrica brasileira no longo prazo. (Ibidem, p. 90).

“Desta forma, mesmo tendo o Brasil grande potencial de energias renováveis, o qual pode ser desenvolvido a custos competitivos, a geração termoeétrica deverá experimentar avanço no país até 2030, para garantir a segurança do suprimento e fazer contraponto ao crescimento da participação de fontes não controláveis na matriz de geração, notadamente as hidroelétricas de fio d’água, os parques eólicos, as térmicas à biomassa e a geração solar.” (CASTRO; BRANDÃO; DANTAS, 2018, p. 7).

Isso posto, o gás natural tem sido considerado um combustível muito relevante para a transição energética da matriz elétrica brasileira não só por trazer estabilidade e segurança de suprimentos, mas também para o desenvolvimento de um sistema elétrico de baixo carbono. É considerado, dessa forma, um combustível de queima limpa se comparado aos outros combustíveis fósseis, como o carvão e o petróleo, por produzir principalmente CO₂ e água e emitir substancialmente menos CO₂ em comparação aos combustíveis mencionados anteriormente, especialmente quando utilizado em usinas termelétricas de ciclo combinado. Nesse sentido, o gás natural é considerado o combustível fóssil de menor impacto ambiental por emitir relativamente menos GEE, contribuindo, assim, positivamente para o meio ambiente ao substituir combustíveis fósseis mais poluentes. (TOLMASQUIM, 2016, p. 36).

Para um maior entendimento acerca do menor impacto relativo do gás natural no meio ambiente, é importante, em primeiro lugar, obter um maior detalhamento das emissões do setor de energia, que no Brasil não é a principal causa de grandes emissões de GEE. Nesse sentido, é importante ressaltar que em 2020 o setor responsável pelo maior volume de emissões de GEE no país é o classificado como mudança de uso da terra e florestas, possuindo como principal vetor de emissões o desmatamento, seguido pelo setor de agropecuária, com 46% e 27% de participações nas emissões, respectivamente. O setor de energia, no qual contempla a geração elétrica através do gás natural, por sua vez, ocupa o terceiro lugar na classificação, com 18% de participação, conforme mostra a figura 21.

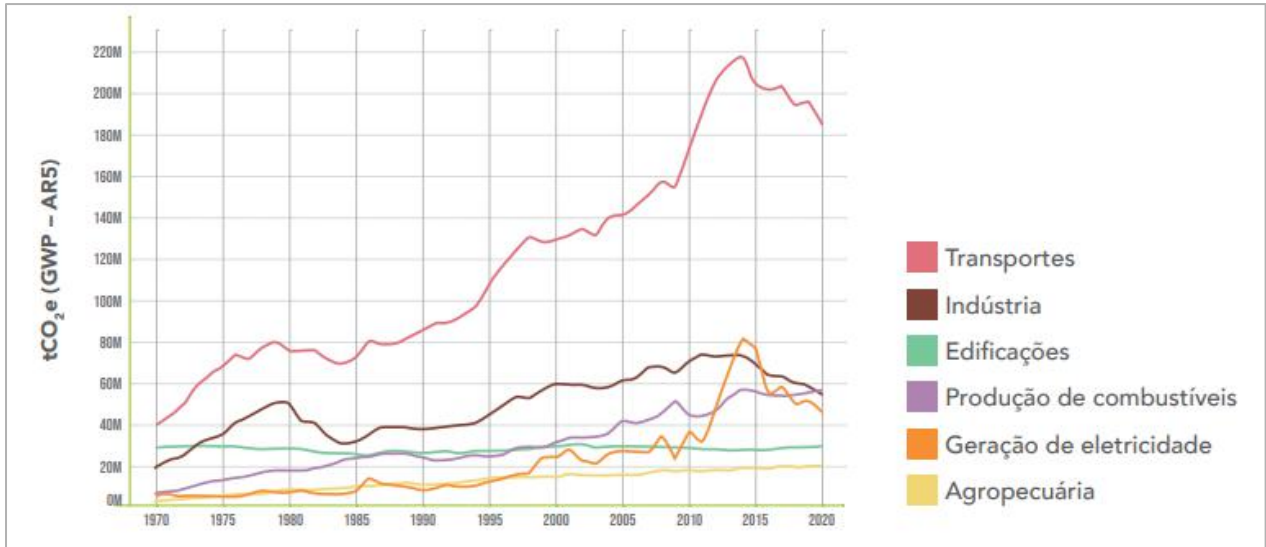
Figura 21: Participação nas emissões brasileiras de GEE por setor em 2020 (MtCO₂e)



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da SEEG

Ampliando os setores contemplados pela geração de energia nacional, conforme a figura 22, é possível destacar que a partir de 2015 o setor de geração de eletricidade vem diminuindo suas emissões de GEE, e em 2020 o *ranking* é liderado pelos setores de transporte e industrial. O fato exposto vai de encontro a uma maior participação de fontes renováveis no Sistema Elétrico Brasileiro (SEB), além do gás natural, que conforme relatado anteriormente, produz menos GEE comparativamente aos outros combustíveis fósseis, considerando uma mesma quantidade de energia fornecida. Dessa forma, seu incremento na participação da geração de eletricidade do país tem contribuído para uma redução das emissões de GEE na matriz elétrica brasileira, uma vez que permite a substituição de fontes fósseis mais poluentes e a diversificação da matriz elétrica com a expansão de fontes renováveis alternativas.

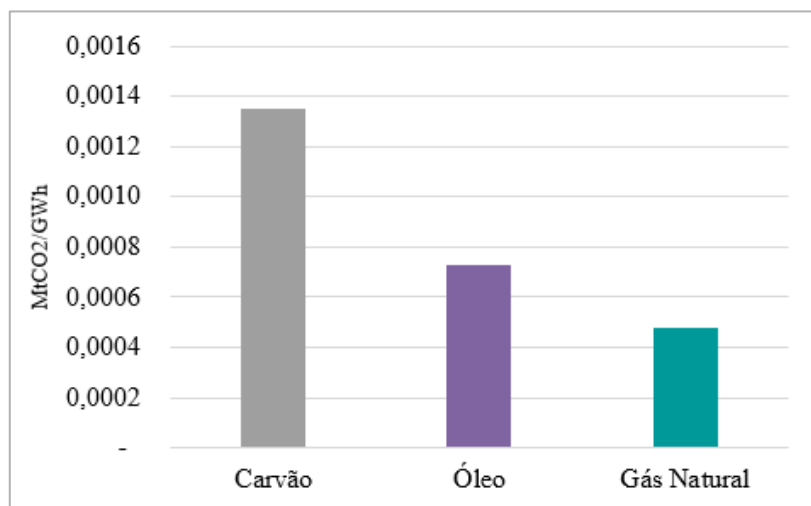
Figura 22: Emissões de GEE nas atividades do setor de energia (1970 – 2020)



Fonte: SEEG, 2021, p. 21.

No que tange às emissões provindas do gás natural durante a geração elétrica, no ano de 2020 o gás natural foi a fonte fóssil com menor emissão de gases poluentes no Brasil, em comparação ao óleo e ao carvão. Segundo a figura 23 é possível notar que para cada GWh de energia gerada, o carvão, óleo e gás emitiram, respectivamente 0,0013 MtCO₂, 0,0007 MtCO₂ e 0,0005 MtCO₂. Evidenciando, dessa forma, que o gás natural é a fonte fóssil com menor emissão de CO₂, contribuindo positivamente para a transição energética nacional.

Figura 23: Emissão de MtCO₂ por GWh de energia elétrica gerada (2020)



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da IEA, 2021.

Nesse sentido, segundo Tolmasquim:

“O gás natural tem ganhado importância e aumentado a sua participação na matriz elétrica por ser, dentre os combustíveis fósseis, o menos poluente. Isto se deve à baixa concentração de contaminantes em sua composição o que resulta em menores emissões de poluentes atmosféricos. Além disso, o gás natural é o combustível fóssil de menor emissão de GEEs. Seu estado físico gasoso também reduz os riscos ambientais associados ao gerenciamento do combustível, que se dispersa rapidamente no ambiente em caso de vazamento”. (TOLMASQUIM, 2016, p. 99).

3.2. Crise Hídrica

Em 2021 o Brasil iniciou um novo período de escassez hídrica, os níveis de água armazenados nos reservatórios das usinas hidrelétricas se tornaram preocupantes, por consequência. Como foi visto anteriormente, o Brasil possui uma matriz majoritariamente hídrica, dessa forma, os níveis depreciados dos reservatórios trouxeram um risco elevado ao SEB, entretanto, esse risco é menor se comparado à crise hídrica de 2001, uma vez que a matriz elétrica nacional se diversificou ao longo dos anos. (GESEL, 2021, n.p.).

Examinando a crise hídrica pelo lado da oferta, entre julho de 2020 e julho de 2021, a Energia Natural Afluyente (ENA) foi 67% da média histórica, isto é, a chuva que poderia ser transformada em MW de energia estava um terço menor que usualmente, o que reduziu drasticamente a quantidade de energia armazenada (EAR) dos reservatórios, especialmente das regiões Sudeste e Centro-Oeste, que detém aproximadamente 70% da EAR do país. (GESEL, 2021, n.p.).

É nesse contexto que entra o importante papel das termelétricas movidas a gás natural. O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) passou a despachar uma maior quantidade de termelétricas, uma vez que as usinas hidrelétricas não conseguiam gerar energia o suficiente para atender a demanda devido ao cenário de escassez. Dessa forma, o gás natural, através da geração termelétrica, serviu para suprir a queda da geração hídrica, a fim de evitar um grande racionamento de energia, como ocorreu em crises hídricas anteriores. Nesse sentido, o gás natural desempenha um papel de garantia de suprimento elétrico no país em períodos de escassez hídrica. De acordo com Tolmasquim:

“[...] em períodos de condições hidrológicas desfavoráveis, as usinas termelétricas são despachadas para garantir o atendimento da carga. Assim, a geração termelétrica complementa a geração hidrelétrica que é dependente das vazões afluentes e do nível de armazenamento dos reservatórios. Assim, o aproveitamento racional dos recursos hídricos depende da existência de usinas térmicas flexíveis que possam variar os seus despachos em função das condições dos reservatórios das usinas hidráulicas.” (TOLMASQUIM, 2016, p. 89).

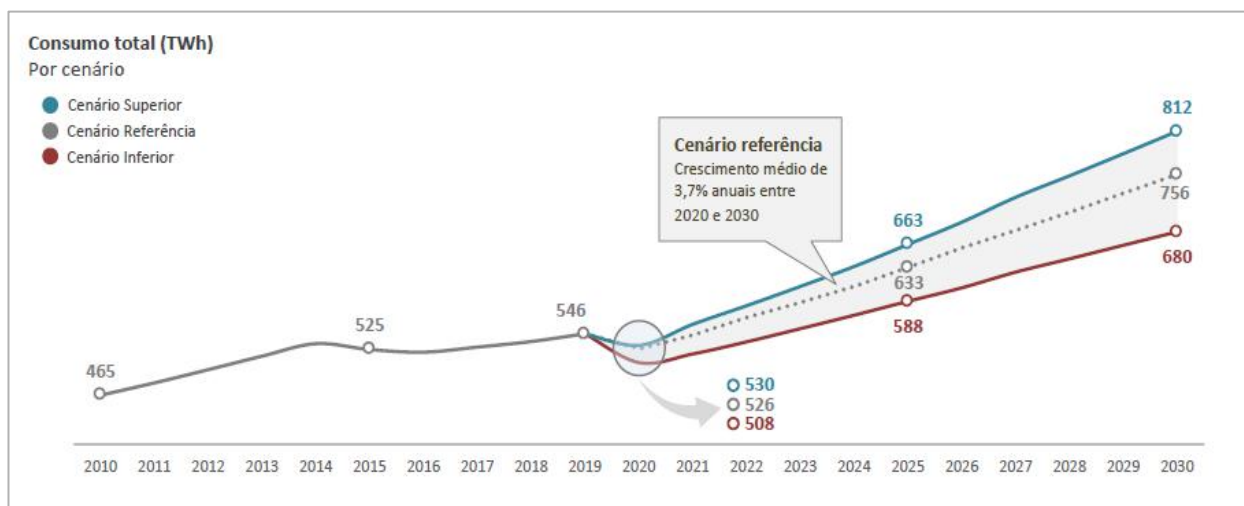
3.3. Gás Natural e o PDE 2030: Projeções dadas pela EPE

Em linha com os tópicos anteriores, que ressaltam a importância do gás natural para a transição energética do país como um combustível fóssil que permite uma expansão das fontes renováveis no país e garante, ao mesmo tempo, segurança de suprimentos (até mesmo em períodos de escassez hídrica), comprometendo relativamente menos o meio ambiente, é possível constatar estimativas de expansão do gás natural na matriz elétrica nacional, através dos estudos apresentados pela EPE em seu Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (PDE 2030).

Primeiramente, é importante verificar a expectativa de demanda por energia elétrica que sustenta a expansão da geração elétrica no país. Nesse aspecto, como mostra a figura abaixo, a projeção de consumo total de energia elétrica em 2030 indica 756 TWh no cenário de referência. Segundo a EPE, espera-se que nos próximos anos a utilização de energia continue mostrando uma tendência de eletrificação. (EPE, 2021, p. 37).

Ademais, de maneira sintética a EPE ressalta que é esperada uma expansão do atual quadro de demanda por energia elétrica da indústria, uma vez que, no curto prazo, espera-se um maior dinamismo da indústria eletrointensiva, além de uma expansão da demanda por parte da indústria de transformação nos últimos cinco anos apresentados. (EPE, 2021, p. 38). Dessa forma, em relação a 2015, a figura 24 indica um incremento de 44% na demanda total, constatando um crescimento significativo ao longo dos anos.

Figura 24: Evolução do consumo total de eletricidade em TWh (2010-2030)



Fonte: EPE - Caderno de Demanda de Eletricidade, 2020, p. 10.

Ainda segundo a EPE:

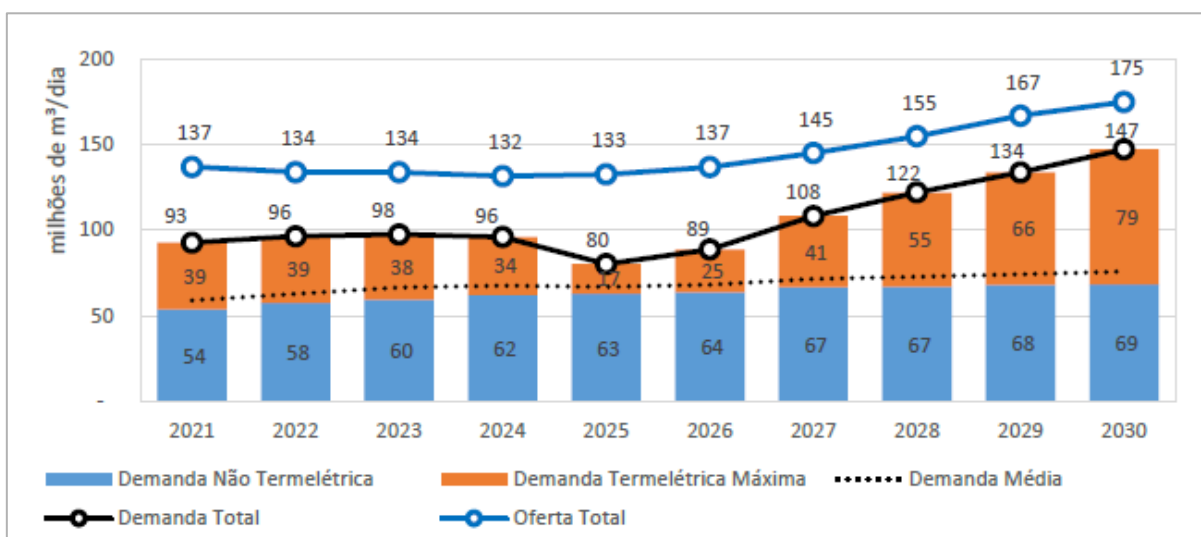
“Apoiado na recuperação econômica vislumbrada no cenário, o uso de eletricidade esperado para o horizonte analisado cresce a taxas acima do crescimento econômico do país, como ocorrido na maior parte do histórico. [...] Nesta projeção, em análise comparativa entre classes de consumo e entre décadas, espera-se que incrementos das classes comercial e residencial registrarão patamares mais brandos, que a indústria cresça com mais vigor, aproveitando a alta capacidade ociosa atual, e que o setor energético tenha forte expansão de consumo via autoprodução”. (EPE, 2021, p. 37).

Isso posto, com relação ao gás natural, de acordo com a EPE esse combustível tem-se mostrado como a principal fonte fóssil para a expansão da geração elétrica nos últimos estudos de Planos Decenais de Expansão de Energia.

“Além do GNL importado, combustível mais comumente utilizado em novas usinas sem geração compulsória (ou flexível), o desenvolvimento das reservas do pré-sal e as novas descobertas de bacias no pós-sal, como em Sergipe, vêm ampliando significativamente a oferta de gás natural nacional. Esses recursos com ofertas abundantes poderão contribuir significativamente para a segurança operativa da matriz elétrica brasileira no horizonte decenal, a depender do preço final do gás natural entregue na usina termelétrica”. (EPE, 2021, p. 53).

Nesse sentido, a EPE apresenta em seu estudo o balanço de gás natural da Malha Integrada do Brasil na figura 25, revelando que a demanda de gás para gerar eletricidade crescerá 58% entre 2021 e 2030, em linha com a expansão da oferta total de gás nacional, que crescerá 28% no mesmo período.

Figura 25: Balanço de gás natural da Malha Integrada do Brasil



Fonte: EPE, 2021, p. 235.

No mesmo documento, a EPE revela que, em termos de geração de eletricidade, o Brasil mantém a predominância das fontes renováveis. Além disso, a figura 26 mostra que alinhada ao incremento das fontes renováveis está a grande expansão do gás natural na matriz elétrica do país, apresentando 78% de crescimento entre 2021 e 2030, enquanto o carvão decresce 43%.

Dessa forma, a EPE mais uma vez ressalta a importância do gás natural na transição da matriz elétrica brasileira, uma vez que a expansão das renováveis vem acompanhada com uma grande evolução do gás natural na matriz no horizonte temporal de 2030.

Figura 26: Estimativas de Geração elétrica por fonte em TWh (geração centralizada)

Fontes	2021	2030	Variação
Renováveis ¹	551	718	30%
Gás Natural	18	32	78%
Carvão	7	4	-43%
Outros ²	8	13	63%

Fonte: Elaboração própria a partir do PDE 2030, EPE, 2021, p. 334.

Notas: (1) Fontes renováveis contempla a geração Hidráulica + Biomassa + Eólica + Solar

(2) Inclui óleo diesel dos Sistema Isolados. Inclui RSU

3.4. O Gás Natural nos Sistemas Isolados

Até agora foi apresentado o papel do gás natural no Sistema Interligado Nacional (SIN), porém, essa fonte também possui uma importante função nos Sistemas Isolados (SISOL) presentes no país. Analisando a distribuição geográfica, os SISOL estão localizados principalmente na Região Norte, que abriga 60% da Floresta Amazônica, considerada a maior floresta tropical do mundo. Apesar dos SISOL possuírem uma grande relevância ambiental e climática, sua matriz elétrica é composta majoritariamente por fontes não renováveis, principalmente óleo diesel. Na região amazônica existem 258 “ilhas de poluição”, em que a maior parte da energia elétrica é gerada por usinas termelétricas a óleo diesel, que são as maiores emissoras de GEE. (GESEL, 2021, p. 1).

“A energia elétrica produzida e consumida pelos Sistemas Isolados tem duas características, ser cara e grande emissora de gases efeito estufa, envolvendo uma custosa logística de transporte por rios com forte sazonalidade, com alto consumo de combustíveis, de custo elevado e emissão de gases de efeito estufa (GEE). O problema é que o cenário do planejamento do SEB para os próximos anos não há previsão de interligação ao SIN para cerca de 200 destas localidades o que enfatiza a necessidade e importância econômica e ambiental de soluções para um melhor equacionamento destas duas variáveis”. (GESEL, 2022, p. 4).

Dessa forma, há um questionamento central: quais os caminhos tecnológicos para promover a mudança da matriz elétrica dos SISOL, de modo que traga benefícios econômicos e ambientais, além de qualidade de suprimento elétrico. No âmbito tecnológico, há um espaço

cada vez maior para soluções renováveis e híbridas, que venham integrar a geração de energia a óleo diesel aos painéis fotovoltaicos e sistemas de armazenamento com a utilização de baterias. Esses sistemas, por sua vez, apresentam custos cada vez menores devido ao amadurecimento tecnológico e as economias de escala, se tornando mais promissores e viáveis de um ponto de vista econômico. (Ibidem, p. 4).

Ademais, “[...] a alternativa da substituição de unidades geradoras a Diesel por gás natural se fortalece como vetor de energia firme, de menor custo e redução da emissão de GEE”. (Ibidem, p. 4). Desse modo, uma das possibilidades para a transição elétrica dos SISOL é a substituição da geração elétrica através de usinas termelétricas movidas a óleo diesel por usinas movidas a gás natural, que é considerada a fonte fóssil menos emissora. Em 2019 foi realizado um leilão para suprimento a Boa Vista, em Roraima, e localidades conectadas. A empresa vencedora do leilão foi a Eneva, com a construção de um novo empreendimento intitulado Projeto Azulão-Jaguatirica, integrando toda a cadeia produtiva do gás natural (extração, liquefação, transporte, gaseificação até o consumo na usina Jaguatirica II). Esse projeto, por sua vez, traz grandes benefícios sistêmicos e ambientais, uma vez que apresenta uma redução de custo de 43% em comparação à geração a óleo diesel e reduz as emissões de CO₂ em 35% e NO_x em 99%.

“Trata-se de uma inovação tecnológica, inexistente até então no Brasil, que garantirá a segurança e qualidade energética da região de Boa Vista com custos mais baixos e níveis de emissões menores se comparada às UTE a diesel. Adicionalmente, e muito relevante frente ao apagão do Amapá, o projeto integra a interconexão radial com a geração local de energia, constituindo uma solução de alta confiabilidade para os consumidores locais. Deste modo, mesmo que, ao longo da vigência do contrato de fornecimento da UTE Jaguatirica II, Roraima venha a ser conectado ao SIN, a planta geradora continuará tendo um papel estratégico para o fornecimento local, como um backup seguro, robusto e confiável.” (GESEL, 2020, p. 3).

Nesse aspecto, o leilão de 2019 foi apenas um exemplo de como o gás natural é importante não só para a garantia de suprimento, mas também para a descarbonização da matriz elétrica dos SISOL, servindo como um combustível de transição para uma matriz mais renovável e, assim, mais limpa, em linha com as metas mundiais de descarbonização até 2050.

Entretanto, é importante ressaltar que a descarbonização do setor elétrico dos SISOL é cercada por desafios, exigindo grandes soluções inovadoras e eficientes, principalmente no que tange às regulações, além do importante papel do planejamento energético. Nesse aspecto, os

leilões de energia elétrica são considerados o principal instrumento de inovação e inserção de tecnologias novas para a geração elétrica na região. Nestes certames, tem-se registrado a ocorrência de avanços em suas regulações nos últimos anos, através dos editais, de modo que possibilitam a criação e inclusão de mais soluções, que não envolvem o óleo diesel. (GESEL, 2022, p. 48).

“A descarbonização do SISOL apresenta cenários reais de implementação reforçada por um marco institucional com funções definidas e integradas e um marco regulatório que se encontra em rápida evolução. Os leilões de energia e seus editais direcionados para o SISOL são aspectos indutores de soluções *off* Diesel indicando se constituir como o principal instrumento de inovação para acelerar a descarbonização e a transição energética nos SISOL”. (GESEL, 2022, p. 5).

Algumas propostas de aprimoramento e inovações regulatórias foram feitas com o intuito de contribuir para o estudo das autoridades públicas do SEB, são elas: i) aumento do prazo dos contratos de modo que permita um maior desenvolvimento e implementação de novas tecnologias; e ii) realização dos leilões de forma mais previsível. (GESEL, 2022, p. 49).

3.5. Desafios do Gás Natural no SEB

O gás natural está em constante transformação ao longo dos anos, no que tange à geração elétrica. Desde o fim do século XX e início do século XXI essa fonte tem sido utilizada para complementar a geração hidrelétrica, mas isso tem passado por mudanças. Quanto à oferta de gás para o setor elétrico, que antes eram restritas à Petrobrás, recentemente vem se diversificando e abrindo espaço para ampliação e desenvolvimento de diferentes modelos de negócios, como: i) implantação de usinas termelétrica associadas aos terminais privados de GNL; ii) geração elétricas a gás do tipo *Reservoir-to-wire*, que conecta a atividade de geração elétrica desde a exploração do gás *onshore* até a transmissão em redes localizadas ao redor; e iii) uso do gás proveniente do pré-sal por produtores independentes. Assim como a oferta de gás, a demanda também vem sofrendo mudanças atreladas a redução relativa da participação das hidrelétricas e aumento das fontes renováveis não controláveis na geração elétrica do país, o que traz uma grande necessidade de fontes controláveis, como o gás natural. (EPE, 2020, p. 179).

Isso posto, o atual processo de abertura e desenvolvimento do mercado de gás natural traz grandes desafios a todos os atores envolvidos na cadeia de geração elétrica através da referida fonte. Dessa forma, os principais desafios listados a seguir necessitam não só de uma série de medidas, mas também coordenação para que sejam efetivamente implementadas.

i) Criação de um mercado competitivo: é esperado que o setor de gás natural brasileiro se torne aberto e com maior liquidez nos contratos, com diversidade de agentes. Porém, o amadurecimento desse mercado é um processo longo e gradual, necessitando do envolvimento de uma série de contratos de curto, médio e longo prazos. Nesse aspecto, um dos grandes desafios é o crescimento desse setor de forma competitiva e dinâmica, estimulando a entrada de novos agentes e uma geração elétrica através do gás natural a preços competitivos. (Ibidem, p. 182-185).

ii) Aprimoramento e harmonização de regulações estaduais: é necessária uma harmonização das regulações estaduais relacionadas ao gás natural, promovendo a entrada voluntária dos estados, usando como base boas práticas regulatórias internacionais, além de uma melhoria no regime de tributação para que seja adequado para a comercialização. É fundamental, dessa forma, um trabalho em conjunto com as esferas estaduais para a formação de um ambiente regulatório sólido e confiável. Além disso, é de suma importância que sejam adotadas metodologias tarifárias eficientes, que possibilitem a viabilização do ponto de vista econômico e uma maior transparência na metodologia de cálculo tarifário e seus componentes. Estimulando também as medidas de acordo com o projeto Novo Mercado de Gás. (Ibidem, p. 182-185).

iii) Expansão da infraestrutura de transporte: um dos grandes desafios é a expansão de forma competitiva da malha de transportes do gás natural, uma vez que atualmente os modelos de negócios mais competitivos estão concentrados na costa, com as termelétricas associadas aos terminais de GNL e no interior, através do modelo *Reservoir-to-wire*. Nesse sentido, essa expansão é essencial para que haja uma maior diversidade de fluxos entre os demandantes e ofertantes, levando a uma entrada de novos atores e estimulando a competição. Necessitando, então, de novas soluções tecnológicas, com adequados tratamentos regulatórios e tributários para cada solução. (Ibidem, p. 182-185).

iv) Integração entre o setor de gás natural e o elétrico: é necessário um aperfeiçoamento no que tange ao planejamento integrado de gás-eletricidade. (Ibidem, p. 182-185).

Nesse sentido, segundo a EPE:

“[...] com a realização de importantes desinvestimentos na cadeia de gás natural pela Petrobras e a possibilidade de utilização do gás do pré-sal, abriu-se um caminho para potencialmente tornar a oferta do insumo mais competitiva, iniciando-se um processo de abertura. Esta, por sua vez, está calcada na mitigação das barreiras de acesso a infraestruturas essenciais e no aumento da transparência na formação de preços para haver estímulo à entrada de novos agentes”. (EPE, 2020, p. 179).

CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu concluir que o gás natural é considerado, de fato, um combustível para a transição da matriz elétrica brasileira em busca da descarbonização e diversificação com garantia de suprimento, em um horizonte temporal analisado até 2030. Foi visto que o Brasil vem enfrentando uma diminuição da participação relativa da hidroeletricidade e aumento de fontes renováveis na geração elétrica, o que vai de encontro com a busca de alcançar as metas mundiais relativas à transição energética.

Dessa forma, o gás natural é visto como um combustível de queima mais limpa, relativamente aos outros combustíveis fósseis, possibilitando, dessa maneira, uma redução da emissão de GEE ao mesmo tempo que permite uma maior diversificação da matriz elétrica brasileira, uma vez que a expansão das fontes de energia renováveis necessita de geração elétrica flexível, o que pode ser melhor atendido com a geração termelétrica movida a gás natural.

Nesse sentido, diversos estudos da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) tratados ao longo do presente trabalho, como o PDE 2030 e PNE 2050, demonstram a grande evolução do gás natural ao longo dos anos e sua expansão até 2030 na matriz elétrica brasileira, corroborando para a defesa do gás natural como a fonte adequada para a transição energética.

Dessa forma, essa fonte permite, ao mesmo tempo, o crescimento econômico do país com a garantia de suprimento elétrico, inclusive em períodos de escassez hídrica e nos locais não atendidos pelo SIN, que é o caso dos sistemas isolados. Além disso, por ser uma fonte flexível, o gás natural permite a diversificação da matriz elétrica com a ampliação de fontes renováveis intermitentes, principalmente as fontes eólica e solar, uma vez que estas colaboram para um sistema elétrico mais limpo, em linha com a lógica da descarbonização mundial até 2050.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Resolução Normativa nº 876, de 10 de março de 2020**. Brasília. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2020876.pdf>.

Acesso em: 05 jan. 2022.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Saiba mais sobre o setor elétrico brasileiro.

[s.d.]. Disponível em:

https://www.aneel.gov.br/home?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=%2F&_101_assetEntryId=14476909&_101_type=content&_101_groupId=654800&_101_urlTitle=faq&inheritRedirect=true. Acesso em: 27 nov. 2021.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. 2021. Rio de Janeiro: ANP. Disponível em: <https://www.gov.br/anp>. Acesso em: 04 dez. 2021.

BP. **Statistical Review of World Energy**. 2021. Disponível em: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>. Acesso em 05 dez. 2021.

CASTRO, N. J. *et. al.* **Visões Estratégicas da Geração Termelétrica no Setor Elétrico Brasileiro**. 2020. Disponível em:

http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/07_castro_2020_07_07.pdf. Acesso em: 05 dez. 2021.

CASTRO, N. J. *et. al.* **A Transição Energética na lógica da Descarbonização: do carvão para o gás natural**. 2019.

Disponível em: http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/04_castro226.pdf. Acesso em: 20 set. 2021.

CASTRO, N. J.; ALVES, A.C. **A geopolítica da energia do século XXI**. Capítulo 3. Rio de Janeiro: Synergia, 2020. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=W5o5EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT47&dq=transi%C3%A7%C3%A3o+energ>

[%C3%A9tica+brasil&ots=QyDiOe3A1x&sig=Ud4DqU85rvhjBTAhCS3ACT4CFI#v=onepage&q=transi%C3%A7%C3%A3o%20energ%C3%A9tica%20brasil&f=true](#). Acesso em: 20 set. 2021.

CASTRO, N. J; BRANDÃO, R; CASTRO, B. 2021. **O Avanço da Crise Hídrica no Brasil**. (GESEL – Grupo de Estudos do Setor Elétrico). Artigo publicado pelo Broadcast do Estado de São Paulo em 20 ago. 2021. Disponível em: <https://geselartigos.wordpress.com/2021/08/20/o-avanco-da-crise-hidrica-no-brasil/>. Acesso em: 19 fev. 2022.

CASTRO, N. J; SOARES, G.A; MONTEATH, L. 2021. **Transição Energética dos Sistemas Isolados na Amazônia**. (GESEL – Grupo de Estudos do Setor Elétrico). Artigo publicado pelo Broadcast do Estado de São Paulo em 08 jul. 2021. Disponível em: <https://geselartigos.wordpress.com/2021/07/08/transicao-energetica-dos-sistemas-isolados-na-amazonia/>. Acesso em: 20 fev. 2022.

CASTRO, N. J. *et. al.* 2021. **A Transição Energética nos Sistemas Isolados: Perspectivas e Desafios para a Descarbonização**. (GESEL – Grupo de Estudos do Setor Elétrico). Artigo publicado pelo Broadcast do Estado de São Paulo em 15 jul. 2021. Disponível em: <https://geselartigos.wordpress.com/2021/07/15/a-transicao-energetica-nos-sistemas-isolados-perspectivas-e-desafios-para-a-descarbonizacao/>. Acesso em: 20 fev. 2022.

CASTRO, N. J; SOARES, G.A; MONTEATH, L. 2021. **A Transição energética no Sistema Isolado Brasileiro**. (GESEL – Grupo de Estudos do Setor Elétrico). Artigo publicado pelo Broadcast do Estado de São Paulo em 23 nov. 2021. Disponível em: <https://geselartigos.wordpress.com/2021/11/23/a-transicao-energetica-no-sistema-isoladobrasileiro/>. Acesso em: 20 fev. 2022.

CASTRO, N. J; MOSZKOWICZ, M; ALVES, A. 2020. **Desafios do atendimento energético nos sistemas isolados da Região Norte**. (GESEL – Grupo de Estudos do Setor Elétrico). Artigo publicado pelo Broadcast do Estado de São Paulo em 26 nov. 2020. Disponível em: <https://geselartigos.wordpress.com/2020/11/26/desafios-do-atendimento-energetico-nos-sistemas-isolados-da-regiao-norte/>. Acesso em: 20 fev. 2022.

CASTRO, N. J. *et. al.* 2022. **Brasil: Transição Energética nos Sistemas Isolados.** (GESEL – Grupo de Estudos do Setor Elétrico). Disponível em: http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/17_tdse_107.pdf. Acesso em: 16 abr. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Anuário Estatístico.** Brasília: MME/EPE, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em: 04 dez. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Plano Nacional de Energia 2050.** Brasília: MME/EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>. Acesso em: 26 set. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balço Energético Nacional 2021 (Relatório Síntese).** Brasília: MME/EPE, 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/BEN_S%C3%ADntese_2021_PT.pdf. Acesso em: 26 set. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030.** Brasília: MME/EPE, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2030>. Acesso em: 25 set. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Caderno de Previsão de Produção de Petróleo e Gás Natural.** Brasília: MME/EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2030>. Acesso em: 03 jan. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Estocagem Subterrânea de Gás Natural.** Rio de Janeiro: MME/EPE, 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-337/EPE,%202018%20-%20Estocagem%20Subterr%C3%A2nea%20de%20G%C3%A1s%20Natural.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2022.

E+ Transição Energética. **Transição Energética no Brasil**. 2020. Disponível em: <https://emaisenergia.org/publicacao/transicao-energetica-no-brasil/>. Acesso em: 04 dez. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Caderno de Demanda de Eletricidade**. Brasília: MME/EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2030>. Acesso em: 30 jan. 2022.

GESEL – Grupo de Estudos do Setor Elétrico. **Regulação Econômica da Geração Termoelétrica: Formas de contratação e metodologia de cálculo do custo de operação**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://www.gesel.ie.ufrj.br/index.php/Publications>. Acesso em: 30 jan. 2022.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). Relatório Anual 2020. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/produto/relatorio-anual-2020>. Acesso em: 05 jan. 2022.

IRENA [s.d]. **Energy Transition**. Disponível em: <https://www.irena.org/energytransition>. Acesso em: 20 set. 2021.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Boletim Mensal de Acompanhamento da Indústria de Gás Natural**. Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis, Departamento de Gás Natural. 2021. N. 154 e 175. Acesso em: 04 dez. 2021.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Informações Complementares ao Boletim Mensal de Acompanhamento da Indústria de Gás Natural**. Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis, Departamento de Gás Natural. 2021. Acesso em: 06 jan. 2022.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). [s.d.]. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>. Acesso em: 27 nov. 2021.

PINTO JUNIOR, H.Q. *et al.* **Economia da Energia: Fundamentos Econômicos, Evolução Histórica e Organização Industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2016. ISBN 978-85-325-8460-7.

SANTOS E.M.; NETTO A.L.A.; PEYERL D.P. **Oportunidades e Desafios do Gás Natural e do Gás Natural Liquefeito no Brasil**. 1. ed. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2020. ISBN 978-65-87594-45-3.

SEEG – SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil 1970-2020**. 2021. Disponível em: https://energiaambiente.org.br/wp-content/uploads/2021/10/OC_03_relatorio_2021_FINAL.pdf. Acesso em: 12 jan. 2022.

TOLMASQUIM, M.T. **Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2016. ISBN 978-85-60025-05-3.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION – EIA. **Net Zero by 2050**. 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>. Acesso em: 20 set. 2021.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION – EIA. **Data and Statistics**. [s.d]. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>. Acesso em: 04 dez. 2021.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION – EIA. **Data and Statistics**. [s.d]. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=BRAZIL&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=ElecGenByFuel>. Acesso em: 12 jan. 2022.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION – EIA. **Electricity Information Overview**, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/electricity-information>. Acesso em: 04 dez. 2021.