



MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA E AS TENDÊNCIAS FUTURAS

BRAZILIAN ELECTRICAL MATRIX AND FUTURE TRENDS

MATRIZ ELÉCTRICA BRASILEÑA Y TENDENCIAS FUTURAS

Leila Aley Tavares¹

e453135

<https://doi.org/10.47820/recima21.v4i5.3135>

PUBLICADO: 05/2023

RESUMO

A crescente preocupação com o meio ambiente e o cenário de mudanças climáticas tem levado à reflexão sobre as tendências futuras da matriz energética mundial. Assim, o setor elétrico brasileiro precisa adaptar-se às novas tendências globais de geração de energia, uma vez que as pressões internacionais para tornar a produção mais sustentável, eficiente e menos dependente das fontes não renováveis estão cada vez mais intensas. Atualmente, a principal fonte de geração de energia elétrica do país é a hidráulica, no entanto, ainda há um grande peso das fontes fósseis, como petróleo, carvão e gás natural. Dessa forma, o país tem apostado na diversificação da matriz elétrica, buscando especialmente fontes mais limpas, que não gerem gases de efeito Estufa. Nesse contexto, observa-se a necessidade de estudos cada vez mais aprofundados sobre a matriz elétrica brasileira, principalmente, na difusão das diversas opções de fontes geradoras. Dessa forma, o presente trabalho fornece uma visão geral das principais características da matriz elétrica brasileira e as tendências para o país. Como método de pesquisa, foi realizado um estudo bibliométrico, utilizando palavras-chave relacionadas ao tema, nas bases de dados científicos SciELO, Google Acadêmico e Web of Science. A análise dos dados mostraram que mesmo com diversas alternativas energéticas e um imenso potencial de recursos naturais renováveis, o Brasil ainda utiliza pouco dos seus recursos naturais. Espera-se, assim, contribuir com o setor elétrico brasileiro no que tange à difusão de informações e discussão sobre o tema frente à necessidade da expansão e diversificação da matriz elétrica nacional.

PALAVRAS-CHAVE: Energias renováveis. Matriz energética. Matriz elétrica. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The growing concern with the environment and the climate change scenario has led to reflection on the future trends of the global energy matrix. Thus, the Brazilian electricity sector needs to adapt to new global trends in energy generation, since international pressures to make production more sustainable, efficient and less dependent on non-renewable sources are increasingly intense. Currently, the main electricity source generation in the country is hydraulic, however, there is still a great weight of fossil sources, such as oil, coal and natural gas. Thus, the country has been betting on the electricity matrix diversification, seeking in particular cleaner sources, which do not generate greenhouse gases. In this context, it is observed the necessity of deeper studies about the Brazilian electric matrix, mainly, in the diffusion of the diverse options of generating sources. Therefore, the present work provides an overview of the main characteristics of the Brazilian electric matrix and the trends for the country. As a research method, a bibliometric study was carried out, using keywords related to the theme, in the scientific databases SciELO, Google Scholar and Web of Science. The data analysis showed that even with several energy alternatives and a huge potential of renewable natural resources, Brazil still uses little of its natural resources. Thus, it is expected to contribute to the Brazilian electricity sector with regard to the dissemination of information and discussion on the subject in view of the need for expansion and national electricity matrix diversification.

KEYWORDS: Renewable energies. Energy matrix. Electrical matrix. Sustainability.

¹ Doutora e Mestre em Química pela Universidade Federal de São Carlos. Professora Associada do Departamento de Tecnologia Industrial, na Universidade Federal do Espírito Santo - UFES.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA E AS TENDÊNCIAS FUTURAS
Leila Aley Tavares

RESUMEN

La creciente preocupación con el medio ambiente y el cambio climático han llevado a reflexionar sobre las tendencias futuras de la matriz energética mundial. El sector eléctrico brasileño necesita adaptarse a nuevas tendencias mundiales de generación de energía, ya que las presiones internacionales para que la producción sea más sostenible, eficiente y menos dependiente de fuentes no renovables son cada vez más intensas. Actualmente, la principal fuente de generación eléctrica del país es hidráulica, todavía hay un gran peso de fuentes fósiles, como petróleo, carbón y gas natural. Así, el país ha apostado en la diversificación de la matriz eléctrica, buscando fuentes más limpias, sin generar gases de efecto invernadero. En este contexto, se observa la necesidad de estudios más profundos sobre la matriz eléctrica brasileña, principalmente, en la difusión de opciones de fuentes generadoras. Así, el presente trabajo proporciona una visión general de las principales características de la matriz eléctrica brasileña y las tendencias para el país. Como método de investigación, se realizó un estudio bibliométrico, utilizando palabras clave relacionadas con el tema, en las bases de datos científicas SciELO, Google Académico y Web of Science. El análisis de los datos mostró que, incluso con varias alternativas energéticas y un enorme potencial de recursos naturales renovables, Brasil todavía utiliza poco sus recursos naturales. Por lo tanto, se espera contribuir al sector eléctrico brasileño en la difusión de información y discusión sobre el tema en vista de la necesidad de expansión y diversificación de la matriz eléctrica nacional.

PALABRAS CLAVE: Energías renovables. Matriz energética. Matriz eléctrica. Sostenibilidad.

1. INTRODUÇÃO

A fonte energética mais utilizada no mundo para a produção de energia elétrica é de origem fóssil e não renovável, como o petróleo, o carvão mineral e o gás natural. No entanto, a queima de combustíveis fósseis, principalmente de petróleo e carvão, têm elevada participação nas emissões dos gases de efeito estufa (GEE's) ao meio ambiente. O consumo excessivo dessas fontes tem sido motivo de grande preocupação, pois além de contribuir para o esgotamento permanente desses recursos naturais também contribui para o aquecimento global (CARVALHO, 2009).

De acordo com Queiroz *et al.*, (2013) o aquecimento do planeta é um dos principais impactos das emissões de gases na atmosfera. Dentre os GEE's cabe destacar o dióxido de carbono (CO₂) como o principal responsável pelo aumento da temperatura global, e que teve sua concentração aumentada na atmosfera devido às atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis. Além do CO₂, outros gases contribuem para agravar esse problema como o metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), ozônio troposférico (O₃) e clorofluorcarbonos (CFCs).

O aumento da eficiência energética e o crescimento da participação das fontes de energia renováveis na matriz mundial são consideradas como a principal solução para reduzir as emissões dos GEE's e, conseqüentemente, as mudanças climáticas causadas em decorrência destes. Dessa forma, a transição para fontes de energia renováveis é fundamental para assegurar um futuro sustentável e preservar o meio ambiente.

Nesse sentido, a sociedade reconhece a necessidade de buscar fontes energéticas diversificadas como alternativas para atender às demandas necessárias à continuidade do desenvolvimento econômico e social. Diversos países preocupados em reduzir os índices de emissão dos GEE's estão investindo na instalação de parques eólicos e sistemas fotovoltaicos para geração de energia elétrica. Por exemplo, a China, é líder em investimentos no setor e detém mais de dois



terços da capacidade eólica mundial, com aproximadamente 310,6 gigawatts (GW) instalados (GOV, 2022).

No Brasil a matriz elétrica apresenta-se privilegiada em relação ao restante do mundo com predominância de energias renováveis. Atualmente, temos no Brasil uma matriz elétrica constituída por aproximadamente 78% de energias renováveis, o que tem sido intensificado com o desenvolvimento de gerações de energia eólica, fotovoltaica e biomassa. No entanto, a geração de energia elétrica ainda apresenta forte dependência da energia hidráulica devido à sua grande disponibilidade em território nacional. Cerca de 57% da eletricidade consumida no país é proveniente de usinas hidrelétricas (EPE, 2022). Porém, um problema decorrente dessa dependência ocorre em períodos de longa seca, onde as chuvas são escassas comprometendo, assim, a oferta de eletricidade. Nesse caso, é necessário complementar a produção com as termelétricas, aumentando o custo de geração, que é conseqüentemente repassado ao consumidor.

Uma forma de contornar tanto o problema da dependência de uma única fonte como o do uso de fontes não renováveis seria a expansão e diversificação da matriz energética nacional. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo fornecer uma visão geral das principais características da matriz elétrica brasileira, ou seja, das fontes energéticas destinadas à geração de energia elétrica, e as tendências para o setor.

2. MÉTODO

O presente estudo apresenta-se como uma pesquisa exploratória, caracterizada pelo levantamento de informações sobre o tópico em questão. O trabalho iniciou-se utilizando a pesquisa bibliográfica para a coleta dos dados, que foram compilados de forma informativa.

Para consolidar a base teórica deste estudo, buscaram-se conceitos sobre Matriz Energética e Elétrica, Fontes de Energia Renováveis e Não Renováveis, características e impactos ambientais das Fontes Energéticas e as tendências e desenvolvimento tecnológico no setor. Os artigos, monografias, dissertações, teses e livros selecionados foram encontrados em diferentes bases de dados científicos, a saber: Scientific Electronic Library Online (SciELO), Google Acadêmico e Web of Science.

A revisão bibliográfica teve por critério de exclusão referências com mais de dezesseis anos. Sendo assim, buscou-se apresentar as informações mais atualizadas e abrangentes encontradas na pesquisa.

Após a leitura e registro das informações extraídas das fontes bibliográficas (no total 46 referências) procedeu-se a análise e interpretação dos resultados, e em seguida a redação do artigo científico, cuja finalidade foi poder contribuir para a difusão do conhecimento científico acerca da temática abordada.

As subseções seguintes apresentam brevemente o cenário da matriz energética e elétrica no Brasil e no Mundo, em seguida, se discute as características e os impactos ambientais mais



relevantes para as principais fontes de energia da matriz brasileira, e por fim apresenta as tendências do setor para os próximos anos.

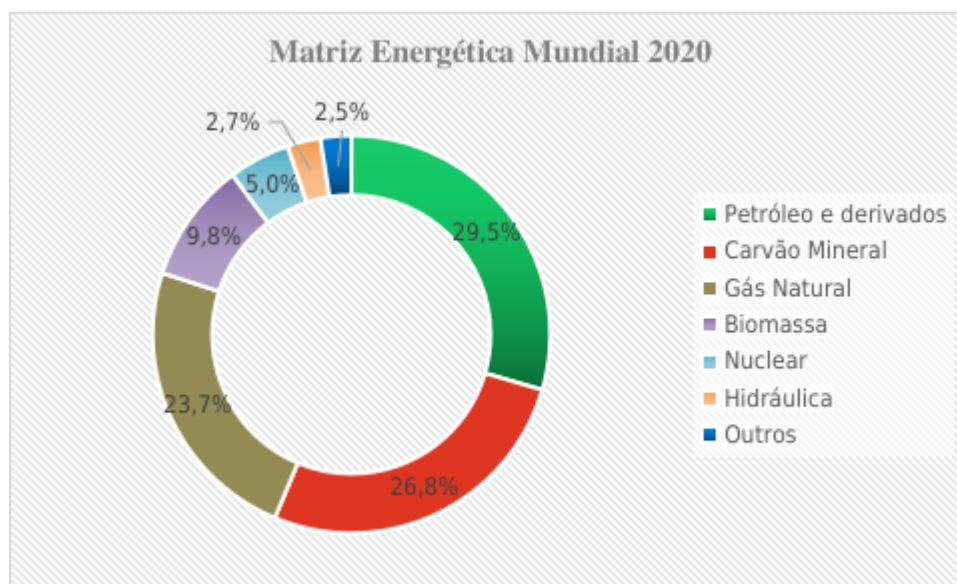
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Matriz energética e elétrica no Brasil e no mundo

Segundo Moreira (2021), a matriz energética é o panorama de distribuição real de aproveitamento dos recursos energéticos dentro de um país, de uma região ou do mundo. Trata-se do conjunto total de fontes de energia disponíveis, como por exemplo, para movimentar os carros, preparar a comida no fogão e gerar eletricidade. Não se deve confundir matriz energética com a matriz elétrica. A matriz elétrica consiste apenas na produção, consumo e demanda da energia elétrica de um país, região ou do mundo. É, assim, um subconjunto da matriz energética correspondente.

A matriz energética mundial é composta, principalmente, por fontes não renováveis, como o petróleo, carvão mineral e gás natural, como mostrado na Figura 1. Estes combustíveis, utilizados em termelétricas, representam, respectivamente, 29,5%, 26,8% e 23,7% do total das fontes utilizadas. A energia nuclear representa aproximadamente 5,0%. Enquanto, as fontes renováveis como solar, eólica e geotérmica representam apenas 2,5% (indicadas como “outros” no gráfico). Somando à participação da energia hidráulica e da biomassa, as renováveis totalizam apenas cerca de 15,0% da matriz energética mundial (IEA, 2022).

Figura 1 - Matriz Energética Mundial 2020



Fonte: IEA, (2022)

Já no Brasil, embora a maior parte dos recursos energéticos sejam de fontes não renováveis, as fontes renováveis tem grande participação, como pode ser observado na Figura 2. Somando lenha e carvão vegetal (8,7%), hidráulica (11,0%), derivados de cana (16,4%) e outras renováveis (8,7%),

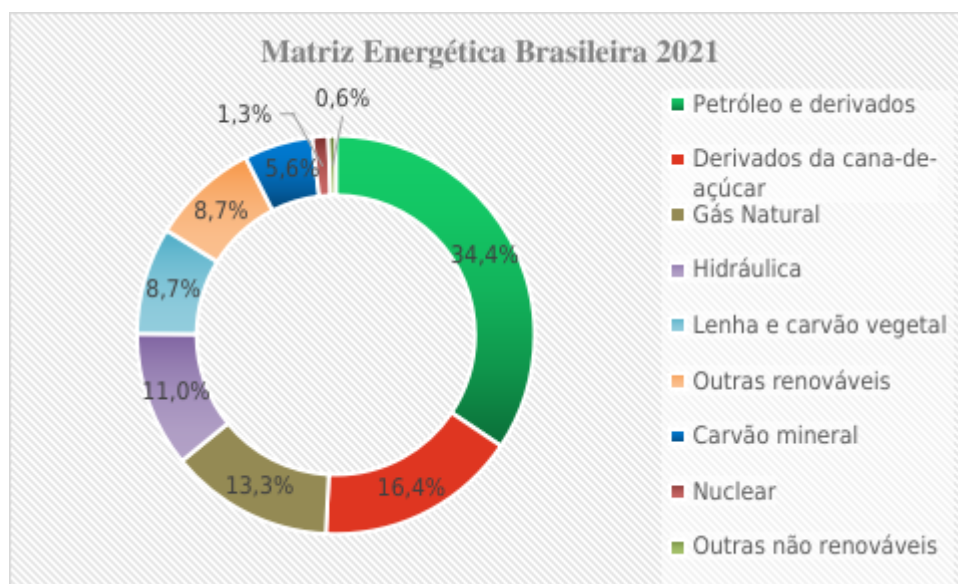


RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA E AS TENDÊNCIAS FUTURAS
Leila Aley Tavares

as fontes renováveis totalizam 44,8%, ou seja, quase metade da nossa matriz energética (EPE, 2022).

Figura 2 - Matriz Energética Brasileira 2021



Fonte: EPE, (2022)

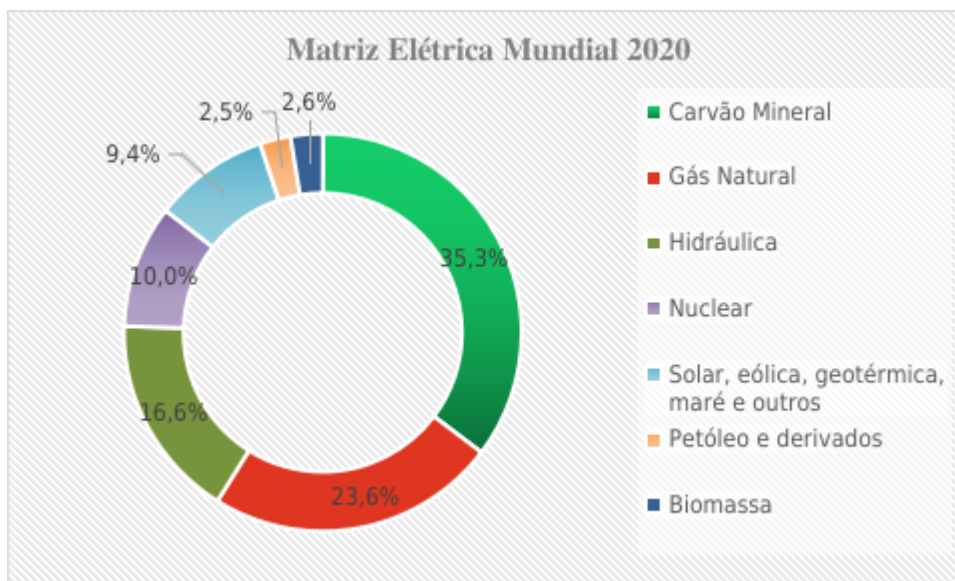
Assim como a matriz energética, a matriz elétrica mundial é baseada, principalmente, na utilização de fontes não renováveis. A utilização do carvão mineral e gás natural em termelétricas representa cerca de 58,9%, ou seja, mais da metade das fontes de geração de eletricidade, como pode ser observado na Figura 3. Esses dados deixam evidentes a grande dependência mundial da energia elétrica proveniente de fontes térmicas. Em contra partida, o interesse comum da sociedade vem impulsionando a comunidade científica a pesquisar e desenvolver estratégias para o aproveitamento de fontes alternativas de energia, menos poluentes, renováveis, e que provoquem reduzido impacto ambiental. Esta tendência tem se verificado ao longo dos anos pela maior contribuição das fontes renováveis na matriz energética mundial. Um exemplo disso pode ser observado no mercado de energia solar que vem crescendo de forma exponencial desde 2012. No ano de 2021 a capacidade instalada de energia fotovoltaica alcançou cerca de 942 GW, enquanto em 2020 e 2019 foram de 760 GW e 623 GW, respectivamente (REN21, 2022).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA E AS TENDÊNCIAS FUTURAS
Leila Aley Tavares

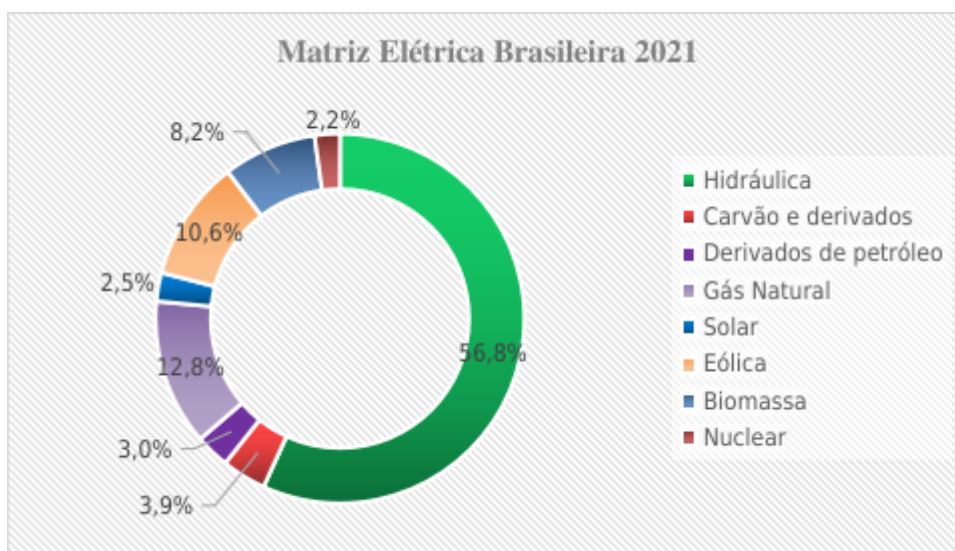
Figura 3 - Matriz Elétrica Mundial 2020



Fonte: IEA, (2022)

Considerando a matriz elétrica nacional, o Brasil é um país privilegiado por possuir um potencial energético consideravelmente limpo. Grande parte da energia elétrica gerada no país vem de usinas hidrelétricas, cerca de 56,8% como pode ser observado na Figura 4 (EPE, 2022).

Figura 4 - Matriz Elétrica Brasileira 2021



Fonte: EPE, (2022)

Por outro lado, é preciso levar em conta que a dependência excessiva de usinas hidrelétricas coloca em risco a segurança energética do país devido à sensibilidade às condições climáticas. No período de 2020/2021, por exemplo, o país registrou uma estiagem histórica, a maior em 91 anos,



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA E AS TENDÊNCIAS FUTURAS
Leila Aley Tavares

afetando especialmente as regiões Sudeste e Centro-Oeste, onde estão instalados os principais reservatórios brasileiros. Com isso, os reservatórios de diversas hidrelétricas atingiram níveis críticos, que não se via desde 2015, fazendo com que estratégias de emergência fossem implementadas. Uma das medidas adotadas foi a bandeira tarifária, que teve por objetivo desestimular o consumo por meio de sobretaxas ao custo do kWh do consumidor em função dos custos de geração da energia elétrica (DUPONT *et al.*, 2015).

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética, a energia eólica e a solar tem crescido significativamente no país nos últimos anos, contribuindo para a redução da dependência de uma única fonte, além de colaborar para que a matriz elétrica continue sendo em sua maior parte, renovável. Segundo os dados do gráfico apresentado na figura 4, as fontes renováveis representam cerca de 78,1% da oferta de eletricidade no Brasil (EPE, 2022).

Recentemente, Barroso *et al.*, (2022) reportaram em seus estudos os aspectos gerais da viabilidade econômica da energia eólica no Brasil, neste trabalho os autores reforçam que esta é uma das fontes renováveis mais prósperas mundialmente. A nível nacional, segundo o boletim anual da ABEEólica (2021), a energia eólica no ano de 2021 alcançou 795 usinas e 21,57 GW de potência eólica instalada, o que representou um crescimento de 21,53% de potência em relação a dezembro de 2020, quando a capacidade instalada era de 17,75 GW. Além disso, foram instalados 110 novos parques eólicos, com um total de 3,83 GW de nova capacidade, sendo estes resultados recordes de instalação para a eólica no Brasil (ABEEólica, 2021).

As principais fontes de energia renovável utilizadas no Brasil são: hídrica, eólica, biomassa e solar, mas além destas existem também a energia geotérmica e dos oceanos.

Nos últimos anos, houve um grande interesse em estudar a energia gerada pelos oceanos, devido ao seu elevado aproveitamento e sua interação harmoniosa com o ecossistema marinho. É estimado que o potencial energético dos oceanos seja de cerca de 3 TW, mas apenas de 2% a 10% desse valor é viável para exploração devido a dispersão dessa energia em mar aberto e a alturas de marés modestas para exploração (FLEMING, 2012). As oscilação de marés, correntes marítimas e ondas são recursos renováveis cuja tecnologia empregada para o aproveitamento dessas fontes de eletricidade está em constante avanço.

No entanto, embora as fontes renováveis estejam disponíveis de forma gratuita e sejam consideradas uma fonte de energia limpa, alguns aspectos e impactos ambientais estão envolvidos nessas tecnologias, deixando evidente que o tema ainda tem muito a ser explorado.

Nesse contexto o presente artigo apresenta no tópico a seguir uma discussão sobre as características e os impactos mais relevantes das principais fontes de energia elétrica da matriz brasileira, que como vimos é em sua maior parte baseada em recursos renováveis.



3.2. Principais fontes de energia elétrica da matriz brasileira

3.2.1. Energia hidráulica

Com o desenvolvimento tecnológico no século XVIII, surgiram as primeiras turbinas e os motores hídricos, o que possibilitou a transformação de energética mecânica em energia elétrica. Essa energia tinha como parâmetros a acumulação, a aceleração e a evaporação da água, características estas causadas pela energia gravitacional e pela irradiação solar, tornando estes responsáveis pela geração de energia elétrica (CEMIG, 2012).

A constituição de uma usina hidroelétrica se dá de forma conjunta e integrada, sendo formada basicamente pelo sistema de captação e adução da água, pela barragem, pela casa de força e pelo vertedouro. A finalidade da barragem é interceptar água, formando um reservatório onde é armazenada a água. O armazenamento de água neste reservatório facilita para que a vazão do rio seja adequada, tanto em dias chuvosos quanto em dias de estiagem, acarretando na captação da chuva em volume adequado e em uma diferença de altura de modo que se torna essencial para a geração de energia hidroelétrica (CEMIG, 2012).

Apesar de ser uma energia renovável e não liberar gases poluentes, as usinas hidroelétricas causam grandes impactos ambientais e sociais na sua implantação como a destruição vegetal natural, o assoreamento do leito dos rios, o desmoronamento de barreiras, a extinção de certas espécies de peixes, além dos impactos sociais relacionados ao deslocamento das populações que habitavam o local (QUEIROZ *et al.*, 2013).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética de 2023, o potencial hidrelétrico brasileiro é estimado em 172 GW, dos quais mais de 60% já foram aproveitados (EPE, 2023). Em 2021, o Brasil tinha em operação 219 usinas hidrelétricas de grande porte, além de 425 pequenas centrais hidrelétricas e 739 centrais geradoras hidrelétricas. Cabe ressaltar ainda que três usinas instaladas no país estão entre as dez maiores do planeta, Itaipu (Binacional), Belo Monte e Tucuruí (BÄHR, 2022).

3.2.2. Energia eólica

A energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento) vem sendo usada pelo homem há mais de 3.000 anos. No início, foi utilizada para atividades como o beneficiamento de grãos e o bombeamento d'água, dividindo espaço com outras tecnologias como a tração animal e rodas d'água ao longo do avanço da atividade agrícola. Já o conceito de geração de energia elétrica a partir dos ventos teve início no século XIX, com a Revolução Industrial. O avanço das redes elétricas motivou pesquisas com o objetivo de adaptar os moinhos para a geração de eletricidade, sendo o primeiro aerogerador desenvolvido pelo americano Charles Brush, em 1888. No entanto, a comercialização deste se deu somente cerca de um século depois, com o interesse de tal tecnologia intensificado pela crise do petróleo a partir dos anos 70 (CUNHA *et al.*, 2019).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA E AS TENDÊNCIAS FUTURAS
Leila Aley Tavares

No Brasil, a primeira turbina eólica foi instalada em 1992, no Arquipélago de Fernando de Noronha, uma vez que, os primeiros dados anemométricos do Brasil, nos anos 1970, apontavam o litoral do Nordeste e o arquipélago de Fernando de Noronha como os sítios mais promissores para a geração eólico-elétrica (EPE, 2007). Outra instalação antiga é a Central Eólica Experimental no Morro de Carmelinho, instalada em 1994, em Gouveia/MG. A partir de 2003, várias centrais eólicas foram instaladas no país, desencadeadas pelo impulso dado pelo “Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia” (Proinfa), instituído pela lei nº 10.438/2002.

Apesar deste tipo de tecnologia não queimar combustíveis fósseis e conseqüentemente não produzir emissões atmosféricas poluentes, a sua implantação não é plenamente privada dos impactos ambientais, visto que as fazendas eólicas modificam as paisagens com suas grandes torres e hélices e ainda ameaçam as aves caso sejam implantados em rotas migratórias. Em adição, têm-se os ruídos emitidos de baixa frequência que podem causar incômodo e até mesmo interferências nas TVs. Outro grande problema enfrentado é o alto custo dos geradores eólicos, que felizmente não tem sido motivo impeditivo para ser considerada uma fonte de energia elétrica viável, uma vez que há um retorno financeiro a curto prazo (CEMIG, 2012).

O Brasil tem, atualmente, capacidade de produzir 22.000 MW de energia eólica e somente a região Nordeste é responsável por 20.000 MW, ou seja, mais de 90% da produção nacional. São 828 parques eólicos em operação no país, sendo 725 parques no Nordeste (GOV, 2022).

3.2.3. Biomassa

A biomassa é todo insumo renovável proveniente de matéria orgânica produzida em um ecossistema animal ou vegetal, que pode ser utilizada na produção de energia elétrica. Os combustíveis fósseis não são considerados como biomassa para geração de energia elétrica (EDUARDO; MOREIRA, 2010).

Existem vários tipos de tecnologias empregadas para a produção de energia elétrica a partir da biomassa, porém todas elas estimam-se a conversão de matéria orgânica em um produto que é utilizado numa máquina motriz, fazendo com que esta gere energia mecânica movendo o gerador de energia elétrica. De maneira geral, todas as tecnologias existentes são aplicadas em processo de co-geração. Esse sistema de co-geração permite produzir sincronicamente energia e calor e assim permitem configurar estes sistemas à forma mais coerente para a utilização de combustíveis. Dentre os principais processos de conversão da biomassa em energéticos e seu aproveitamento, podemos citar a combustão direta, gaseificação, pirólise, digestão anaeróbica, fermentação e a transesterificação (CEMIG, 2012).

O aproveitamento de biomassa para a produção de energia vem despertando cada vez mais interesse no Brasil, pois além de ser considerada uma fonte sustentável de baixo custo e abundante, existe a grande possibilidade de novas tecnologias para aumento do seu potencial energético. No Brasil, diversos fatores têm contribuído para alcançar altos níveis de utilização de biomassa, tais



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA E AS TENDÊNCIAS FUTURAS
Leila Aley Tavares

como a rica biodiversidade, a disponibilidade de área para cultivo e condições climáticas adequadas (VAN DER SELT, 2011).

De acordo com dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), referentes a 2018, a produção de energia elétrica proveniente dos produtos energéticos da biomassa foi de 54,4 mil gigawatt-hora (GWh), o que representou 9% de toda a energia elétrica produzida no Brasil naquele ano. Essa fonte energética chegou a representar 32% do crescimento anual da capacidade de geração elétrica instalada no país (em 2010). Em 2020, a biomassa contou com cerca de 416 MW de acréscimo à matriz elétrica, representando 8,9% do total previsto a ser instalado por todas as fontes no país. Atualmente, de acordo com o Balanço Energético Nacional de 2022, a biomassa é a quarta fonte mais utilizada, ficando atrás apenas da energia hidráulica (56,8%), gás natural (12,8%), e da energia eólica (10,6%) e representa cerca de 8,2% da matriz elétrica do país (EPE, 2022).

Os dois insumos naturais mais utilizados para a geração desse tipo de eletricidade (termoelétrica) são a biomassa da cana-de-açúcar e a lixo, também conhecida como licor negro, oriundo tipicamente do processamento da madeira pela indústria de papel e celulose. Além dessas fontes, o uso da lenha de florestas energéticas para geração de energia elétrica vem aumentando e contribuindo para essa diversificação (EPE, 2022).

A biomassa é considerada como uma fonte renovável limpa que além de gerar menos SO_2 e NO_x possui ciclo fechado de carbono, o que reduz as emissões de CO_2 ao ambiente. Contudo, existem algumas críticas sobre a eficiência nas emissões evitadas de Gases de Efeitos Estufa (GEE). De acordo com, Borges *et al.*, (2016) a queimada de resíduos agrícolas, tais como palha de arroz, bagaço de cana de açúcar, restos agrícolas e outros, para co-geração de energia elétrica ou aquecimento atendem cerca de 2 bilhões de pessoas no mundo, o que causa, segundo os pesquisadores, o dobro de compostos orgânicos carcinogênicos e mutagênicos do que produzidos pelos combustíveis fósseis. Em outro estudo, Demirbas (2007) afirma que a queima da lignina presente nas matérias vegetais libera quatro vezes mais metais pesados como Cádmiio, Cromo, Arsênio, Cobre e Mercúrio, do que o carvão. Além disso, alguns pesquisadores mencionam a elevada demanda de água nos plantios de cana-de-açúcar (FRAITURE *et al.*, 2008), o aumento no uso de pesticidas agrícolas (ENGELHAUPT, 2007) e, sobretudo, a ameaça à biodiversidade (SCHARLEMANN; LAURANCE, 2008).

Embora haja críticas sobre o uso da biomassa como fonte de energia, é importante considerar todos os impactos positivos e negativos que envolvem os aspectos econômicos, ambientais e sociais. Para isso, é essencial que se invistam continuamente em pesquisas e estudos que levem à estruturação de programas de energias limpas, especialmente, de biomassas modernas, que se acredita ter potencial para promover o desenvolvimento sustentável em diferentes regiões do mundo.



3.2.4. Energia solar

A energia solar é proveniente da radiação solar e o seu aproveitamento para geração de energia elétrica se dá por meio do processo fotovoltaico. Nesse processo, a eletricidade é obtida por meio dos painéis solares, nos quais os materiais semicondutores convertem a radiação solar em energia solar (ANEEL, 2008). Assim que ocorre a coleta da radiação solar, nos painéis solares, esta é transferida para um controlador de carga, que posteriormente passa pelo inversor, que vai transformá-la em energia elétrica. O excedente da energia é armazenado em baterias, para ser utilizado em horários de consumo de pico ou quando não ocorre radiação.

A energia solar ainda é pouco utilizada no Brasil, sendo apenas cerca de 2,5% do total da sua matriz elétrica. Segundo Nascimento (2004), como sistema autônomo para uso doméstico, esta não consegue competir com o preço da energia elétrica das concessionárias via rede pública de distribuição, principalmente em relação a custos de implantação e manutenção.

O país apresenta um grande potencial de energia solar não aproveitado. Apesar das diferentes características climáticas observadas nacionalmente, a média anual de irradiação global indica boa uniformidade, com médias anuais relativamente altas em todo país. Conforme afirma Pereira *et al.*, (2017), o local no Brasil onde ocorre a menor radiação solar global se dá no estado de Santa Catarina, com 4,25 kWh/m². Sendo esse valor cerca de quatro vezes superior ao apresentado para o território da Alemanha, um dos países líderes no aproveitamento de energia solar.

Em 2019, China, Estados Unidos, Japão, Alemanha e Índia, liderando o *ranking* mundial de energia solar, apresentaram uma capacidade fotovoltaica instalada de, respectivamente, 204,7 GW; 75,9 GW; 63 GW; 49,2 GW; e 42,8 GW (IEA, 2020), enquanto o Brasil apresentou uma capacidade instalada de aproximadamente 2,0 GW (EPE, 2020).

De acordo com o estudo estratégico Grandes Usinas Solares, elaborado pela empresa Greener, em 2020 existiam 105 usinas solares em operação no Brasil, somando uma potência instalada de 2,69 GW, o que representava apenas cerca de 1,7% do total da matriz elétrica do país. Em 2021, esse número aumentou para 2,5% de acordo com o relatório do Balanço Energético Nacional de 2022. E dentre os estados com maior potência em operação, destacam-se a Bahia, Minas Gerais, Piauí e Ceará.

Apesar da energia solar ser considerada uma energia limpa e renovável e muito menos poluente do que outras formas de geração de energia ainda existem algumas preocupações com os seus impactos ambientais. A maior delas é a emissão de produtos tóxicos durante a produção do insumo utilizado na fabricação dos módulos e componentes periféricos (AGUILAR *et al.*, 2012). Segundo Oliveira (2017), o silício (Si) é um componente básico da indústria eletrônica e fotovoltaica e, embora seja o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre constituindo cerca de 20% dela, não se encontra na natureza no seu estado puro, e sua obtenção em forma pura, a partir do processamento de rochas de quartzo, dióxido de silício (SiO₂), envolve um elevado consumo de energia (temperatura superior a 1000°C) e reações com gases e diversos produtos químicos – como o ácido clorídrico, hidróxido de potássio, hidróxido de sódio e ácido acético - que podem gerar



impactos ambientais significativos. Além disso, ao final da vida útil dos painéis solares, o descarte inadequado pode levar a contaminação do solo e da água.

No entanto, é importante ressaltar que os impactos negativos da energia solar são geralmente menores do que aqueles associados a outras formas de energia como as não renováveis. Além disso, muitos fabricantes de painéis solares estão trabalhando para reduzir o uso de materiais e tornar o processo de fabricação mais sustentável.

3.2.5. Petróleo, gás natural e carvão mineral

O petróleo, o gás natural e o carvão mineral são todos combustíveis fósseis que se formaram há centenas de milhões de anos, sendo portanto não renováveis na escala temporal humana. A origem desses fósseis é resultado do lento processo de decomposição de vegetais e animais em ambiente com pouco oxigênio e condições de elevadas temperatura e pressão .

Essas fontes não renováveis são utilizadas em equipamentos especiais, como caldeiras e motores, onde a energia armazenada nas suas ligações químicas é convertida em formas de energia útil, podendo ser elétrica nas termelétricas, ou cinética nos veículos. No Brasil, o gás natural também é usado como fonte de energia térmica, calor, para cozinhar e aquecer a água do banho. Já nas usinas termelétricas, o calor produzido na queima dos combustíveis dentro da caldeira aquece a água dentro de uma rede de tubos que por sua vez produz vapor suficiente para movimentar uma turbina ligada a um gerador que produz energia elétrica. Como o ciclo é fechado, o vapor é resfriado por um condensador e volta à rede de tubos da caldeira (MACHADO NETO, 2016).

Tais fontes de energia tem um papel importante na geração de energia elétrica em todo o mundo, no entanto, há um forte movimento na busca por fontes alternativas menos poluentes. Pois, ao serem queimados produzem gases poluentes como o dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e partículas, que podem causar problemas respiratórios e outras doenças. Também produzem gases de efeito estufa que contribuem para o aquecimento global e as mudanças climáticas. Além disso, tem-se os impactos ambientais da extração. A extração de combustíveis fósseis pode causar danos ambientais significativos, como poluição do solo e da água, perda de habitat e riscos de vazamentos (CAMPOS *et al.*, 2010). Dentre os citados, o gás natural é considerado o mais limpo e o menos intensivo em carbono. Devido a esse fato, tem recebido a atenção de vários autores que o consideram de grande importância como combustível de transição, até que se desenvolvam alternativas tecnológicas de baixo impacto ambiental (MORAIS, 2015).

Segundo o Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, o Brasil foi o 33º colocado em reservas provadas de gás natural em 2020. A maior reserva provada de gás natural encontra-se na Rússia, com 19,9% do total mundial, seguida pelo Irã (17,1%) e Qatar (13,1%). Na América Latina, as maiores reservas estão localizadas na Venezuela (3,3%), enquanto que o Brasil detém apenas cerca de 0,2% das reservas mundiais de 188,1 trilhões de metros cúbicos (IBP, 2020).

Segundo dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2022), no ano de 2021, a produção nacional de gás natural foi de 47,6 bilhões de metros cúbicos.



Nesse mesmo ano, foram declarados 378.653 milhões de metros cúbicos (MMm³) de reservas provadas de gás natural no Brasil, havendo um aumento de 11,7% em relação ao ano anterior. Sendo que destas, cerca de 64,3% encontram-se em bacias do pré-sal.

Com relação à produção de petróleo, o Brasil produziu 1.027 milhões de barris de petróleo em 2021 (ANP, 2022). Neste mesmo ano, foram declarados 13.242 milhões de barris (MMbbl) de reservas provadas, representando um aumento de 11,0% comparado com o ano de 2020. E destas reservas provadas de petróleo, cerca de 72,6% ficam na região de pré-sal, principalmente no litoral da região Sudeste. Segundo o Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, o Brasil foi o 9º maior produtor de petróleo no mundo, em 2021, mantendo-se na mesma posição de 2020. Enquanto isso, os quatro maiores produtores mundiais, Estados Unidos, Arábia Saudita, Rússia e Canadá foram responsáveis por 48,9%, quase metade da produção mundial (IBP, 2021).

O carvão é uma das principais fontes energéticas em todo o mundo, representando aproximadamente 35% da matriz elétrica mundial. No Brasil sua produção tem destaque na região Sul, que é a maior produtora de carvão mineral do país, sendo as principais reservas encontradas no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina (MASSA, 2022). Há uma concentração das reservas nacionais em torno do estado do Rio Grande do Sul, que detém cerca de 90% do total das reservas. Somente o município de Candiota-RS concentra 38% das reservas brasileiras. Santa Catarina concentra aproximadamente 10%, enquanto o Paraná apresenta um pouco menos de 1% das reservas de carvão do país. Sobre a produção nacional, dados recentes, apontam a quantidade de 4,45 milhões de toneladas em 2018, correspondendo a 0,4% da produção mundial (BOLETIM DO SETOR MINERAL, 2020).

De acordo com o Balanço Energético Nacional (2022), juntas as fontes de energia gás natural, carvão mineral, petróleo e derivados representam cerca de 19,7% da matriz elétrica brasileira (EPE, 2022).

3.2.6. Energia nuclear

A energia nuclear é proveniente de reações que ocorrem no núcleo de certos átomos radioativos. Estas reações, em geral, dividem o átomo de um elemento químico em dois átomos diferentes, liberando grande quantidade de energia. Esse processo é chamado de "fissão nuclear". Na natureza, o único elemento natural encontrado para realizar a fissão nuclear é o Urânio. Antes de ser utilizado, o urânio passa por processos de purificação e concentração, resultando em seu enriquecimento. A energia liberada durante o processo de fissão aquece um líquido, geralmente a água, produzindo vapor, que em alta pressão movimentam as turbinas que, por sua vez, acionam os geradores elétricos para a produção de energia elétrica.

É importante destacar a eficiência da geração nuclear. Normalmente uma usina nuclear opera com capacidade superior a 85%, ao contrário das demais usinas térmicas, que geralmente operam com capacidade inferior a 40%. Isso significa que a geração nuclear opera por mais de 7400 horas por ano, enquanto que termelétricas convencionais não chegam a operar 3500 horas por ano.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA E AS TENDÊNCIAS FUTURAS
Leila Aley Tavares

Essa eficiência é um fator importante e pode contribuir para o aumento das usinas nucleares em todo o mundo. Quanto mais eficiente for o processo menos rejeitos são produzidos. E nesse caso, deve-se ter muito cuidado com o rejeito que sobra da reação química. Este deve ser armazenado para evitar contaminação das pessoas e do ambiente, porque continua radioativo por longo tempo.

Segundo Carvalho (2012), a expansão da energia nuclear somente é possível com a aceitação da sociedade, sendo fatores críticos para o julgamento público os rejeitos nucleares, a segurança das unidades nucleares e os custos de geração. Nesse sentido, após o acidente de Chernobyl, em 1986, que teve impactos catastróficos tanto socioambientais como político-econômicos, muitas pesquisas impulsionaram avanços tecnológicos na área, além de propiciarem melhorias significativas na segurança nuclear. Hoje, a tecnologia dispõe de diversos mecanismos de segurança, sendo a possibilidade de acidentes de vazamento de radiação na usina muito reduzida. Nas usinas de Angra 1, 2 e 3, por exemplo, há a presença de um sistema de segurança físico em torno do reator, que consiste em 6 barreiras: estrutura cristalina da pastilhas zircaloy, tubo de revestimento das varetas, sistema estanque de refrigeração do reator, blindagem de concreto, esfera de contenção de aço e prédio do reator de concreto. Além disso, também contam com sistemas de segurança passivos, tais como: sistema de defesa em profundidade, através dos sistemas operacionais, de segurança e de instrumentação e controle dos reatores, que entram automaticamente em ação para impedir acidentes e, também, desligar e resfriar o reator em casos de emergência.

Com isso, o Plano Nacional de Energia (PNE 2050), que detém um conjunto de estudos e diretrizes visando estratégias a longo prazo para o setor elétrico brasileiro, prevê o investimento de cerca de 30 bilhões de reais no setor. Essa quantia contempla a construção de seis usinas nucleares, previstas para 2050 e a finalização da usina de Angra 3, que dará prosseguimento ao programa nuclear brasileiro, com prospecção de expansão em até 8 GW, até 2030, nas regiões sudeste e nordeste (EPE, 2020).

Atualmente, existem duas usinas nucleares brasileiras em operação (Angra 1 e Angra 2), que são responsáveis por produzir 2,2% da energia elétrica brasileira e apresentam uma potência de aproximadamente 2 GW (gigawatts), e uma usina em construção (Angra 3), prevista para 2027, e que promete acrescentar 1,4 GW de potência à nossa matriz (EPE, 2022; PALADINO, 2022).

Apesar de ser uma fonte esgotável e não renovável, devido às reservas de minérios nucleares serem finitas, a energia nuclear é considerada uma fonte de energia limpa, pois não emite CO₂ durante a operação da central nuclear (CARVALHO, 2012). No entanto, Carvalho (2012) alerta que esse gás é emitido em todas as etapas do ciclo do combustível nuclear, desde a mineração do óxido de urânio até a fabricação dos elementos combustíveis, e também na construção e montagem das usinas nucleares.



3.3. Tendências futuras

O desafio de atender a uma crescente demanda global por energia e, simultaneamente, reduzir as emissões de dióxido de carbono no planeta tem encontrado o seu pilar na diversificação. Aumentar a variedade da matriz elétrica pode trazer benefícios significativos para a sociedade, a economia e o meio ambiente. A segurança energética do país pode ser melhorada, pois permite que haja mais fontes de produção de energia disponíveis em caso de falhas em uma delas. Além disso, reduz a dependência de uma única fonte energética, o que pode diminuir a vulnerabilidade do sistema energético. A diversificação da matriz elétrica também pode levar a um aumento da competitividade econômica, já que a utilização de diferentes fontes de energia pode gerar novas oportunidades de negócio. Outro aspecto importante é a possibilidade de se obter uma mistura de fontes de energia com menor impacto ambiental, já que a utilização de fontes renováveis pode diminuir as emissões de gases de efeito estufa (FERNANDES *et al.*, 2020).

O setor elétrico brasileiro vem seguindo essa tendência mundial, que exige uma diversificação do mix de geração de energia elétrica. Para isso, diversos órgãos governamentais e não governamentais trabalham em conjunto com universidades, instituições de pesquisa e desenvolvimento, empresas do setor energético e setores associados para propor as soluções mais viáveis para o problema energético.

Nesse processo de diversificação da matriz energética, entende-se que é importante aproveitar os programas governamentais que incentivam a geração de energia limpa, bem como explorar o potencial da biomassa e biocombustíveis, gás natural, parques eólicos e solares, energia das marés, hidrogênio, sistemas de cogeração e geração híbridos, entre outros. Tais iniciativas podem garantir a segurança do fornecimento de energia elétrica do país, além de consolidá-lo como líder na geração de energia renovável no contexto global (NASCIMENTO; ALVES, 2016; SANTOS *et al.*, 2015).

É importante frisar que nessa fase de transição energética as fontes limpas e menos poluentes tem sido o foco. No entanto, os combustíveis fósseis ainda terão um papel importante uma vez que as fontes renováveis possuem intermitência devido ao tipo de recurso natural utilizado para a geração, como exemplo a energia hidráulica que após longos períodos de seca pode ter sua oferta de eletricidade comprometida.

No Brasil, o Plano Decenal de Expansão de Energia 2031 (PDE, 2031) tem papel fundamental no processo de diversificação da matriz elétrica nacional, apresentando-se como um instrumento para delinear as perspectivas de investimentos e avanços do setor energético em nosso país para a próxima década. Nesse plano, o país baseia a sua estratégia na eletrificação renovável, nos biocombustíveis, na eficiência energética e no uso do gás natural. Um dos destaques é o incentivo às estratégias de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (P&DI) em hidrogênio. O Brasil aprovou em 2021 o Programa Nacional de Hidrogênio (PNH2), que vem contribuir para o alinhamento das oportunidades de desenvolvimento dessa indústria no país. O Hidrogênio é considerado mundialmente um potencial propulsor para a descarbonização das grandes economias. E desde



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA E AS TENDÊNCIAS FUTURAS
Leila Aley Tavares

2005, o Brasil tem incentivado esse setor, focando no desenvolvimento de várias rotas tecnológicas: renováveis (etanol, hidro, eólica, solar e biometano) e a gás natural. Além disso, promoveu o desenvolvimento de projetos-piloto de ônibus, geração elétrica e armazenamento de energia, célula combustível a etanol, que vem despertando grande interesse de empresas do ramo energético (EPE, 2022).

De acordo com o PDE 2031, a capacidade instalada de geração do Brasil deve passar de 200 GW em 2021 para 275 GW em 2031. A predominância hidráulica na matriz energética nacional deve diminuir e abrir espaço para outras fontes renováveis, como a eólica e a solar, sendo sua projeção estimada em 45% para 2031. As fontes renováveis devem dominar o cenário, com previsão para compor 83% da capacidade de geração através das fontes: hidráulica, biomassa, eólica e solar. No entanto, apesar do plano focar em gerações menos poluentes, a representatividade das térmicas não renováveis (gás natural, carvão, óleo combustível e diesel) deve continuar em um patamar considerável de 12% com relação ao total da matriz elétrica nacional. Destaca-se a expectativa de um incremento da geração nuclear com a implementação de Angra 3 em 2027, com a perspectiva de aumento de 1% na matriz elétrica, e uma quarta usina nuclear, com potência prevista em 1.000 MW em 2031. Outro ponto importante, tratado nesse documento, é a consideração do novo marco legal da Micro e Minigeração Distribuída (MMGD), através da lei 14.300/2022, com a previsão de aumento na capacidade instalada de 8 GW em 2021 para 37 GW em 2031, ou seja, a representação da MMGD e da autoprodução no cenário de geração nacional deve crescer de 8% para 17% nos próximos 10 anos.

Em termos mundiais, o Relatório de Tendências Globais em Energia Renovável 2019, revela que nos últimos 10 anos, a capacidade de energias renováveis quadruplicou, tendo destaque para as fontes de energia eólica, biomassa, hidrelétrica e, especialmente, a solar (FRANKFURT SCHOOL, 2019).

Por se tratar de um assunto de interesse global, um grande esforço tem sido realizado na tentativa de prever e solucionar os problemas associados à energia em todo o mundo. Nesse sentido, cabe aqui alguns questionamentos sobre o futuro desse setor. O que ainda podemos esperar para o futuro da matriz elétrica brasileira? Haverá células fotovoltaicas comerciais de rendimento superior às atuais? Serão descobertos novos materiais para a construção de tais células? Considerando o armazenamento de energia, conseguiremos armazenar gás hidrogênio a custos competitivos para alimentar as células a combustível? Existem tecnologias em desenvolvimento que podem mudar todo o paradigma energético, como é o caso da fusão nuclear, em que combina átomos de hidrogênio para produzir hélio com liberação de grande quantidade de energia, teremos o aproveitamento dessa energia? E a fissão nuclear, teremos no futuro usinas nucleares intrinsecamente seguras? As usinas sucroalcooleiras serão mais eficientes com o uso de novas tecnologias, como a gaseificação e a biodigestão? A imensa costa brasileira será aproveitada com geradores de maremotriz e ondas? Serão resolvidos os problemas dos resíduos sólidos urbanos com o uso de tecnologias sustentáveis,



que também geram energia elétrica? Todas essas questões nos deixa claro que ainda há um futuro promissor a ser desvendado na área energética.

4- CONSIDERAÇÕES

Devido à preocupação global com o aumento do consumo de combustíveis fósseis, pela crescente demanda energética da população, a sociedade tem buscado cada vez mais obter fontes energéticas que causem menos problemas ambientais e sociais.

Nesse sentido, cabe ressaltar que apesar das fontes de energia renováveis produzirem níveis relativamente baixos de emissões de gases de efeito estufa, existem outros impactos inerentes aos aspectos bióticos e sociais que devem ser discutidos e estudados de forma profunda, principalmente na fase de fabricação, para adequar o processo de expansão dessas fontes renováveis a uma produção efetivamente limpa (ARAÚJO et al., 2022).

O Brasil é um dos poucos países que possui em sua matriz elétrica predominantemente fontes renováveis, com 78,1% do total, sendo que somente a hidráulica corresponde a cerca de 56,8%. No entanto, observa-se que mesmo com diversas alternativas energéticas e um imenso potencial de recursos naturais renováveis, o país ainda utiliza pouco dos seus recursos naturais. Para mudar esse cenário, o planejamento do setor elétrico brasileiro deve se adequar à essa nova exigência internacional. A partir dos trabalhos que orientaram essa pesquisa, é possível perceber que o país não está totalmente inerte frente a essa problemática, mas deveria caminhar mais rápido, pois alguns autores afirmam que nos últimos anos, o crescimento do consumo de eletricidade no Brasil ocorreu mais rapidamente do que a melhoria necessária para a capacidade adequada de geração elétrica.

No Brasil, a fonte geradora de eletricidade que mais cresceu nas últimas décadas foi a energia eólica, tendo a sua contribuição na matriz elétrica nacional ultrapassado a da biomassa em 2022, e se colocado na segunda posição. Outra fonte em crescente expansão é a energia solar, que aliás, apresenta um potencial ainda pouco explorado no território brasileiro, uma vez, que todo o país possui média anual de irradiação relativamente alta. Portanto, vê-se aqui a necessidade de mais investimentos e financiamentos por parte do governo na difusão dessa tecnologia.

Nesse contexto, acredita-se ser essencial que mais estudos aprofundados sobre a matriz elétrica brasileira sejam realizados, e que possam contribuir para o desenvolvimento do panorama energético nacional, bem como no planejamento de sua expansão.

REFERÊNCIAS

ABEEólica. Associação Brasileira de Energia Eólica e Novas Tecnologias. **Boletim anual**, 2021. <https://abeeolica.org.br/energia-eolica/dados-abeeolica/>

ABERLE, A. G. Thin-film solar cells. **Thin Solid Films**, v. 517, n. 17, p. 4706–4710, 2009.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA E AS TENDÊNCIAS FUTURAS
Leila Aley Tavares

AGUILAR, R. S.; OLIVEIRA, L. C. S.; ARCANJO, G. L. F. Energia Renovável: Os Ganhos e os Impactos Sociais, Ambientais e Econômicos nas Indústrias Brasileiras. In: **XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Bento Gonçalves. Rio Grande do Sul: UFRGS, 2012.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2008.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO. Gás Natural e Biocombustíveis. **Boletim de Recursos e Reservas de Petróleo e Gás Natural**, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-estatisticos/arquivos-reservas-nacionais-de-petroleo-e-gas-natural/boletim_reservas_2021.pdf. Acesso em: 05 abr. 2023.

ARAÚJO, R. S.; SOUSA, F. L. N.; VANDERLEY, P. S.; BENTES, S. O. S.; GOMES, L. M.; FERREIRA, F. C. L. Fontes de energias renováveis: pesquisas, tendências e perspectivas sobre as práticas sustentáveis. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, p. 01-14, 2022.

BÄHR, M. O Brasil não pode prescindir da geração hídrica. **Engie**, 2022. Disponível em: <https://www.alemdaenergia.engie.com.br/mauricio-bahr-o-brasil-nao-pode-prescindir-da-geracao-hidrica/>. Acesso em: 06 abr. 2023.

BARROSO, L. L.; OLIVEIRA, M.; GALVÃO, M. E. M.; SILVA, G. J.; CUNHA, D.; SILVA, L. S.; CRISTO, J. P.; ANTUNES, G.N.; CABRAL, E. L.; SILVA, J. A. C. Aspectos gerais sobre a viabilidade de instalação de Energia Eólica no Brasil. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. 01-10, 2022.

BOLETIM DO SETOR MINERAL. **Mineração**: riqueza para o desenvolvimento e o bem estar social. Brasília: Boletim do Setor Mineral, 2020. Disponível no endereço eletrônico: <http://antigo.mme.gov.br/documents/36108/1006289/Boletim+do+Setor+Mineral+%E2%80%93+outubro+2020+dados+atualizados+at%C3%A9+setembro+de+2020.pdf/3c490442-f48d-4ed3-41e3-6654e17e8ba0?version=1.0>. Acesso em: 20 mar. 2023.

BORGES, A. C. P.; SILVA, M. S.; ALVES, C. T.; TORRES, E. A. Energias renováveis: Uma contextualização da biomassa como fonte de energia. **Rede – Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 10, n. 2, p. 23-36, 2016.

CAMPOS, M. L.; ALMEIDA, J. A.; SILVEIRA, C. B.; GATIBONI, L. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; MIQUELLUTI, D. J.; KLAUBER FILHO, O.; SANTOS, J. C. P. Impactos no solo provocados pela mineração e depósito de rejeitos de carvão mineral. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 9, n. 2, p. 198-205, 2010.

CARVALHO, J. F. **O Declínio da Era do Petróleo e a Transição da Matriz Energética Brasileira para um Modelo Sustentável**. 2009. Tese (doutorado em Energia) - PPGE-USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CARVALHO, J. F. O espaço da energia nuclear no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 293-307, 2012.

CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Alternativas energéticas**: Uma visão da Cemig. Belo Horizonte: CEMIG, 2012.

CUNHA, E. A. A.; SIQUEIRA, J. A. C.; NOGUEIRA, C. E. C.; DINIZ, A. M. Aspectos históricos da energia eólica no Brasil e no mundo. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 8, n. 4, p. 689-697, 2019.

DEMIRBAS, A. M. Combustion of Biomass. **Energy Sources Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, v. 29, n. 5, p. 549-561, 2007.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA E AS TENDÊNCIAS FUTURAS
Leila Aley Tavares

DUPONT, F. H. ; GRASSI , F.; ROMITTI, L. Energias Renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável Renewable Energies: seeking for a sustainable energy matrix. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 70-81, 2015.

EDUARDO, C.; MOREIRA, S. Fontes alternativas de energia renovável, que possibilitam a prevenção do meio ambiente. **Revista de Divulgação do Projeto Universidade PETROBRAS/IF Fluminense**, v. 1, p. 397-402, 2010.

ENGELHAUPT, E. Biofueling waters problems. **Environmental Science & Technology**, v. 41, n. 22, p. 7593-7595, 2007.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2020**: ano base 2019. Rio de Janeiro, EPE, 2020. Disponível: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>. Acesso em: 25 fev. 2023.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2022**: ano base 2021. Rio de Janeiro, EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em 05 abr. 2023.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz Energética e Elétrica**. Brasília: EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 25 fev. 2023.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2031**. Brasília, EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202031%20RevisaoPosCP%20rvFinal%20v2.pdf>. Acesso em 20 mar. 2023.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Nacional de Energia 2030**. Rio de Janeiro: EPE, 2007. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/Relat%20c3%b3rio%20final%20PNE%202030.pdf>. Acesso em 10 abr. 2023.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Nacional de Energia 2050**: ano base 2020. Rio de Janeiro, EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2023.

FERNANDES, J. A. F.; GONZÁLEZ, C.; VALDERRAMA, A.; SILVA, L. N. A.; MARQUES, E. R. F. Energias renováveis: Fonte de energia limpa? *In: XI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, Vitória - ES, 2020.

FLEMING, F. P. **Avaliação do potencial de energias oceânicas no Brasil**. 2012. Dissertação (Mestrado) – COPPE - Programa Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

FRAITURE, C.; GIORDANO, M.; LIAO, Y. Biofuel and implications of agricultural mater use: blue impacts of green energy. **Water Policy**, v. 10, n. S1, p. 67-81, 2008.

FRANKFURT SCHOOL-UNEP. **Global Trends in Renewable Energy Investment 2019**. Frankfurt: Centre/BNE, 2019. <http://www.fs-unep-centre.org>.

GOV- GOVERNO FEDERAL. **Energia Eólica**: Brasil sobe para a sexta posição em ranking internacional de capacidade de energia eólica onshore. Brasília: Governo Federal, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2022/04/brasil-sobe-para-a-sexta-posicao-em-ranking-internacional-de-capacidade-de-energia->



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA E AS TENDÊNCIAS FUTURAS
Leila Aley Tavares

[eolica#:~:text=O%20%C3%ADder%20do%20ranking%20%C3%A9,Brasil%2C%20atr%C3%A1s%20apenas%20da%20hidr%C3%A1ulica.](#) Acesso em: 01 maio 2023.

GOV- GOVERNO FEDERAL. **Energia Renovável:** Energia eólica registra primeiro recorde de geração instantânea de 2022. Brasília: Governo Federal, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/noticias/energia/08/energia-eolica-registra-primeiro-recorde-de-geracao-instantanea-de-2022#:~:text=O%20Brasil%20tem%2C%20atualmente%2C%20capacidade,sendo%20725%20parques%20no%20Nordeste>. Acesso em: 03 fev. 2023.

IBP - INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO E GÁS. **Maiores Produtores Mundiais de Petróleo em 2021.** Rio de Janeiro: IBP, 2021. Disponível em <https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/snapshots/maiores-produtores-mundiais-de-petroleo-em-2020/> Acesso em: 05 fev. 2023.

IBP - INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO E GÁS. **Maiores Reservas Provadas de Gás Natural em 2020.** Rio de Janeiro: IBP, 2020. Disponível <https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/snapshots/maiores-reservas-provadas-de-gas-natural-em-2020/> Acesso em: 05 fev. 2023.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Report IEA-PVPS T1-37:202:** snapshot of global PV markets. [S. l.]: IEA, 2020. Disponível: https://ieapvps.org/wp-content/uploads/2020/04/IEA_PVPS_Snapshot_2020.pdf.

MACHADO NETO, A. R. **Automação de uma pequena central termelétrica.** 2016. TCC (Graduação) - Centro Tecnológico, Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2016.

MASSA, PESAGEM E AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL. **Produção de carvão mineral no Brasil.** Pinhais: Massa, 2022. Disponível em: <https://massa.ind.br/producao-de-carvao-mineral-no-brasil/> Acesso em: 05 abr. 2023.

MORAIS, L. C. **Estudo sobre o panorama da energia elétrica no Brasil e Tendências futuras.** 2015. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista. Bauru, p.128, 2015.

MOREIRA, J. R. S. **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.** 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

NASCIMENTO, R. S.; ALVES, G. M. Fontes alternativas e renováveis de energia no brasil: Métodos e benefícios ambientais. *In: XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VI Encontro de Iniciação à Docência.* Paraíba. Universidade do Vale do Paraíba. 2016.

OLIVEIRA, A. de S. **Avaliação de impactos ambientais do módulo fotovoltaico: produção e uso como fonte de energia elétrica.** 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) - Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

PALADINO, G. Discretamente, governo federal mira na expansão da produção de energia nuclear no Brasil. **Jornal da Unesp,** 20 jan. 2022. Disponível em: <https://jornal.unesp.br/2022/01/20/discretamente-governo-federal-mira-na-expansao-da-producao-de-energia-nuclear-no-brasil/> Acesso em 10 mar. 2023.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. G.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA J. G. **Atlas brasileiro de energia solar.** 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível: http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA E AS TENDÊNCIAS FUTURAS
Leila Aley Tavares

QUEIROZ, R. *et al.* Geração de energia elétrica através da energia hidráulica e seus impactos ambientais. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 13, n. 13, p. 2774-2784, 2013.

REN21. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. 2022. https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf.

SANTOS, P. R. G.; FLORENTINO, M. C. C.; BASTOS, J. L. C.; TREVISAN, G. V. Fontes renováveis e não renováveis geradoras de energia elétrica no Brasil. *In: VIII Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnológica Interdisciplinar*, 2015.

SCHARLEMANN, J. P. W.; LAURANCE, W. F. How green are biofuels? **Science**, v. 319, n. 5859, p. 43-44, 2008.

VAN DER SELT, M. J. C. *et al.* Biomass upgradings by torrefaction for the production of biofuels: A review. **Biomass and Bioenergy**. **The Netherlands**, n. 35, p. 3748-3762, 2011.