



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIA E
CONTABILIDADE
MESTRADO PROFISSIONAL EM ADMINISTRAÇÃO E CONTROLADORIA

MARIA LUDMILLA CAMPOS DE MORAES

FUTURO DA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA.

FORTALEZA

2023

MARIA LUDMILLA CAMPOS DE MORAES

FUTURO DA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração e Controladoria – Profissional, da Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Administração e Controladoria. Área de concentração: Gestão organizacional.

Orientador: Prof. Dr. Érico Veras Marques

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M822f Moraes, Maria Ludmilla Campos de.
Futuro da matriz elétrica brasileira / Maria Ludmilla Campos de Moraes. – 2023.
97 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Mestrado Profissional em Administração e Controladoria, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Érico Veras Marques.
1. Sustentabilidade. 2. Matriz elétrica. 3. Matriz energética. I. Título.

CDD 658

MARIA LUDMILLA CAMPOS DE MORAES

FUTURO DA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração e Controladoria - Profissional da Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Administração e Controladoria. Área de concentração: Gestão organizacional.

Aprovado em: ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Erico Veras Marques (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jocildo Figueiredo Correia Neto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Josimar Souza Costa
Universidade de Fortaleza (UNIFOR)

AGRADECIMENTOS

Primeiro gostaria de agradecer a Deus pela minha vida e por minha saúde e, principalmente, nunca me deixar sozinha em todos os momentos em que fraquejei.

Ao meu marido, Luiz Eduardo, que respeitou todos os momentos em que não pude estar presente, compreendendo e me resguardando de distrações. Muito obrigado pelo cuidado redobrado que teve comigo todo este período.

Ao meu orientador, Professor Érico, a quem assustei de forma recorrente, que acreditou e auxiliou no desenvolvimento da minha pesquisa e me ajudou, de forma extremamente positiva, a concluir esta etapa há tempos planejada e só agora alcançada. Muito obrigada pela paciência.

Agradeço a todos que responderam aos questionários de pesquisa e aos entrevistados por dedicarem seu tempo precioso para me ajudar a atingir os objetivos da minha pesquisa de mestrado. Muito obrigada pela disponibilidade.

Por fim, agradeço aos amigos do mestrado, alguns em especial, pela troca de experiência e pela delicadeza e alegria em ajudar todas as vezes que precisei. Obrigada por entrarem na minha vida.

“Quem é rico em sonhos não envelhece nunca.
Pode até ser que morra de repente.
Mas morrerá em pleno voo...”

Rubem Alves

RESUMO

A análise da Matriz Elétrica Brasileira -MEB, despertou o interesse acadêmico a partir da crise hídrica, em 2001, obrigando o governo, a iniciativa privada e a sociedade pensar alternativas para solucionar o problema. Percebe-se que as políticas de diversificação da MEB não sofreram grandes alterações função de que em 2021 uma nova crise hídrica comprometeu o fornecimento de energia, agora com características mais graves que a anterior. O impacto causado pelas crises hídricas no fornecimento de energia elétrica é resultado da composição da matriz elétrica eminentemente hidráulica, sujeita às condições climáticas, construída no Brasil. Identificou-se que apesar de ser uma matriz fortemente renovável apresenta característica não sustentável por não garantir o abastecimento de energia elétrica do país nos períodos de estiagem. Deste modo, investigou-se como se configura o futuro da matriz elétrica brasileira. Para que os objetivos fossem atingidos utilizou-se o método misto, abordagem que envolve a coleta de dados quantitativos e qualitativos integrando os dois tipos de dados. A coleta dos dados feita em duas etapas: um *survey* utilizando um questionário estruturado com profissionais que atuam no setor de energia; e uma entrevista semiestruturada com questões abertas, com cinco especialistas considerados de “notório saber” do setor. A análise dos dados foi realizada por meio de estatística descritiva com suporte do Excel e análise de conteúdo de Bardin, tendo-se os resultados comparados com os Indicadores de Energia para o Desenvolvimento Sustentável (EISD) para avaliação da aderência da MEB a estes indicadores. Concluiu-se que o Brasil, bem como o restante do mundo, está com o olhar voltado para a transição energética por se tratar de um momento desafiador para a humanidade. O aumento da temperatura do planeta e as consequentes catástrofes climáticas que tem ocorrido em todos os países, proporcionou um contexto mundial que favorece o Brasil pelo seu vasto e diverso potencial de geração de energia limpa. O mesmo contexto está direcionando a MEB para implantação de parques eólicos offshore, disseminação da fonte solar por Geração Distribuída (GD) e para produção de Hidrogênio Verde em larga escala. O estudo contribui com o setor elétrico brasileiro uma vez que apresenta uma análise atualizada da composição da matriz bem como os fatores que favorecem e dificultam transformá-la uma matriz elétrica sustentável sob o ponto de vista do fornecimento de energia. Contribui, também, com a academia, trazendo a análise de um setor em que ainda é explorado, com maior ênfase, sob a ótica das ciências exatas.

Palavras-chaves: Matriz elétrica; Matriz energética; Sustentabilidade.

ABSTRACT

The analysis of the Brazilian Electrical Matrix -MEB, aroused academic interest after the water crisis in 2001, forcing the government, the private sector and society to think about alternatives to solve the problem. It can be seen that the MEB's diversification policies have not undergone major changes due to the fact that in 2021 a new water crisis compromised the energy supply, now with more serious characteristics than the previous one. The impact caused by water crises on the supply of electricity is the result of the composition of the electrical matrix, which is eminently hydraulic, subject to weather conditions, built in Brazil. It was identified that despite being a strongly renewable matrix, it has an unsustainable characteristic because it does not guarantee the country's electricity supply in the dry season. In this way, it was investigated how the future of the Brazilian electric matrix is configured. In order to reach the objectives, the mixed method was used, an approach that involves the collection of quantitative and qualitative data, integrating both types of data. Data collection was carried out in two stages: a survey using a structured questionnaire with professionals working in the energy sector; and a semi-structured interview with open questions, with five specialists considered to be "well known" in the sector. Data analysis was performed using descriptive statistics supported by Excel and Bardin's content analysis, with the results being compared with the Energy Indicators for Sustainable Development (EISD) to assess MEB's adherence to these indicators. It was concluded that Brazil, as well as the rest of the world, is looking at the energy transition as it is a challenging time for humanity. The increase in the planet's temperature and the consequent climatic catastrophes that have occurred in all countries, provided a global context that favors Brazil due to its vast and diverse potential for generating clean energy. The same context is directing the MEB towards the implementation of offshore wind farms, the dissemination of solar sources through Distributed Generation (DG) and the production of Green Hydrogen on a large scale. The study contributes to the Brazilian electricity sector by presenting an updated analysis of the matrix composition as well as the factors that favor and hinder making it a sustainable electricity matrix from the point of view of energy supply. It also contributes to the academy, bringing the analysis of a sector in which it is still explored, with greater emphasis, from the perspective of the exact sciences.

Keywords: Electrical matrix; Energy matrix; Sustainability.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Indicadores de energia para o desenvolvimento sustentável	34
Quadro 2 – Fases de estruturação do SEB	46
Quadro 3 – Estudos empíricos anteriores	49
Quadro 4 – Relação entre afirmativa e objetivos específicos	59
Quadro 5 – Fundamentação das questões levantadas	60
Quadro 6 - Relação entre objetivos específicos, coleta e análise de dados	61
Quadro 7 – Cronograma da pesquisa	63
Quadro 8 – Relação entre respostas e objetivos	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz elétrica brasileira	18
Figura 2 – Capacidade de armazenamento dos reservatórios	21
Figura 3 - Geração de energia elétrica por fonte e cenário, 2018 – 2040	23
Figura 4 - Demanda de eletricidade por setor e cenário, 2018-2040	24
Figura 5 – Linha do tempo – energia elétrica no Brasil	40
Figura 6 – Oferta interna de energia não renovável	41
Figura 7 – Oferta interna de energia renovável	43
Figura 8 - Países com baixo custo de produção de hidrogênio	44
Figura 9 - Sistema Interligado Nacional	47
Fig. 10 – Gênero	65
Fig. 11 – Faixa etária	65
Fig. 12 – Escolaridade	65
Fig. 13 - Ocupação	65
Fig. 14 – Cargo	65
Fig. 15 – Experiência no setor	65
Fig. 16 - A matriz elétrica do Brasil é caracterizada pela alta concentração de fontes não emissoras de CO2 ou de baixa emissão	66
Fig. 17 – Quando comparado ao mundo, o sistema elétrico brasileiro ocupa posição destaque	67
Fig. 18 - A inserção de fontes térmicas menos poluentes contribuiu significativamente para consolidar o baixo perfil emissor da matriz elétrica brasileira	67
Fig. 19 - A energia nuclear foi incorporada à matriz elétrica e permanecerá na matriz por ser de baixa emissão de CO2	68
Fig. 20 - A energia eólica ocupa pouca terra, permitindo que se continue com criação de animais ou plantações	68
Fig. 21 - A energia eólica é a fonte de geração que tem o menor impacto ambiental	69
Fig. 22 - Parques eólicos não emitem CO2 em sua fase de operação	69
Fig. 23 - Combustíveis sintéticos fabricados a partir de fontes renováveis, a exemplo do hidrogênio verde, irão compor a matriz no futuro	70

Fig. 24 - As fontes renováveis possuem variabilidade e/ou sazonalidade, as quais podem influenciar a confiabilidade do sistema de geração	70
Fig. 25 - O Brasil tem uma matriz energética diversificada dispondo de fontes, tradicionais, alternativas e renováveis	71
Fig. 26 - A matriz elétrica evoluiu para um perfil hidrotérmico com destaque para o gás natural	71
Fig. 27 - O Brasil está muito bem-posicionado para se tornar um dos maiores produtores de energia limpa e renovável no mundo	72
Fig. 28 - A construção de uma matriz energética confiável passa pela garantia de ininterrupção do processo de geração e distribuição de energia	72
Fig. 29 - A fonte solar tem muito espaço para crescer nos próximos anos, se as condições adequadas estiverem postas	73
Fig. 30 - O Governo Federal e os Governos Estaduais devem desenvolver políticas públicas que contemplem medidas de apoio e incentivo às fontes renováveis	73
Fig. 31 - O Governo Federal e os Governos Estaduais devem contribuir para a diversificação da matriz elétrica, diminuindo o uso dos recursos hídricos, bem como reduzindo o uso de fontes fósseis	74
Fig. 32 - A sinergia das pequenas centrais hidrelétricas com outras fontes renováveis (eólica, biomassa e fotovoltaica) proporciona flexibilidade operativa e de armazenamento para matriz elétrica	75
Fig. 33 - Pequenas centrais hidrelétricas (PCHs e CGHs) podem ser a alternativa para reduzir a implantação de usinas térmicas	75
Fig. 34 - A concentração de geração eólica e solar na região nordeste força a expansão da rede básica	76
Fig. 35 - Usinas hidrelétricas de pequeno porte (CGHs, PCHs e UHE) garantem mais energia firme injetada no sistema	76
Fig. 36 - PCHs/CGHs são capazes de sustentar a sazonalidade da própria demanda	77
Fig. 37 - Descarbonizar não significa acabar com os combustíveis fósseis, mas sim, acabar com a emissão do CO ₂ que ele gera	77
Fig. 38 – Complementaridade fontes eólica e solar	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Perfil dos entrevistados	60
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balço Energético Nacional
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
EISD	Indicadores de Energia para Desenvolvimento Sustentável
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FIEC	Federação das Indústrias do Estado do Ceará
IAEA	International Atomic Energy Agency
IEA	International Energy Agency
IFCE	Instituto Federal do Estado do Ceará
GEE	Gases de Efeito Estufa
MEB	Matriz Elétrica Brasileira
MME	Ministério das Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema
SEB	Setor Elétrico Brasileiro
SED	Desenvolvimento de Energia Sustentável
SIN	Sistema Interligado Nacional
SFV	Solar Fotovoltaica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Contextualização e delimitação do tema	17
1.2 Questão de pesquisa	19
1.3 Objetivo da pesquisa.....	19
1.4 Justificativa.....	20
1.5 Aspectos metodológicos	25
1.6 Estrutura geral da dissertação	25
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	26
2.1 Sustentabilidade.....	26
2.1.1 <i>Desenvolvimento Sustentável</i>	28
2.1.2 <i>Desenvolvimento de Energia Sustentável</i>	30
2.1.3 <i>Indicadores de Energia para o Desenvolvimento Sustentável</i>	32
2.2 Um breve histórico da Matriz Elétrica Brasileira.....	37
2.3 Fontes de geração de energia.....	40
2.3.1 <i>Fontes não renováveis</i>	41
2.3.2 <i>Fontes renováveis</i>	42
2.3.3 <i>Hidrogênio</i>	44
2.4 Marcos regulatórios	45
2.5 Estudos empíricos anteriores sobre a MEB.....	48
3 METODOLOGIA.....	56
3.1 Tipologia da pesquisa	56
3.2 Etapas da Pesquisa.....	57
3.2.1 <i>Survey</i>	57

3.2.2. Entrevistas	57
3.3 Coleta de dados.....	58
3.4 Análise de dados	62
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	64
4.1. A Matriz Elétrica Brasileira: visão dos respondentes	64
4.1.1. Perfil dos respondentes	64
4.1.2. Resultados evidenciados a partir do survey.....	66
4.2. Matriz Elétrica Brasileira: visão dos entrevistados	79
4.2.1. Analisar os marcos regulatórios para o setor	79
4.2.2. Analisar as políticas de diversificação da matriz	80
4.2.3. Mapear as estratégias para uma matriz renovável.....	81
4.2.4. Mapear as estratégias para uma matriz sustentável.....	81
4.2.5. Identificar as características da matriz elétrica para o futuro	82
4.3. Relação entre respostas e objetivos.....	83
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
REFERÊNCIAS	90
APÊNDICE 1 – QUESTIONÁRIO SOBRE A MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA.....	97
APÊNDICE 2 – ROTEIRO DE ENTREVISTA	99

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais fatores do crescimento econômico é a garantia de fornecimento de energia. Segundo Pereira e Silva Neto (2020), não é possível gerar crescimento econômico e melhorar a qualidade de vida da sociedade sem o fornecimento energético compatível com os níveis de crescimento. Os países desenvolvidos e em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, estão buscando novas fontes de geração de energia que não sejam poluentes para que possam planejar e implantar matrizes elétricas sustentáveis.

A pandemia do COVID-19 é consequência do tratamento dado pelo homem ao meio ambiente, desrespeitando e exaurindo os recursos naturais, provocando desorganização na fauna e deslocando os animais silvestres para os centros urbanos. De acordo com o *World Meteorological Organization*, em 2021 chuvas fortes provocaram inundações na Europa Ocidental. Parte da Escandinávia está sofrendo uma onda de calor e as nuvens de fumaça da Sibéria afetaram a qualidade do ar no Alasca. O calor sem precedentes no oeste da América do Norte também provocou incêndios florestais devastadores.

Conforme estudos anteriores, desenvolvidos por Tolmasquim, Guerreiro e Gorini (2007), Bronzatti, Iaroziski Neto (2008), Carvalho (2009), Oliveira (2017), Costa (2017), Raimundo *et al.* (2018), Brito *et al.* (2019), Krell e Souza (2020), Pereira e Silva Neto (2020, 2021), Reichert e Souza (2021), os autores constatam que: a Matriz Elétrica Brasileira (MEB) é eminentemente hídrica, portanto não é sustentável; a fonte hídrica, apesar de renovável, não se constitui em fonte limpa, pela degradação que provoca na fauna e na flora; para o suprimento de energia, nos períodos de estiagem, é necessário despachar as termelétricas complementando o fornecimento de energia onerando as tarifas e, finalmente, que as fontes eólica e solar aumentarão, significativamente, suas participações na matriz até 2030, em especial a solar fotovoltaica (SFV).

Em matéria no Canal Energia, Bruno Pascon, sócio fundador e diretor da CBIE *Advisory*, consultoria especializada em inteligência, regulação e assuntos estratégicos para o setor de energia, afirma que o Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 não está alinhado com a necessidade de prover segurança e confiabilidade no fornecimento de energia atrelado a baixos custos. Pascon (2021) declara que o quadro hidrológico brasileiro sinaliza fadiga por apresentar nível reduzido no volume de chuva, impactando o subsistema Sudeste/Centro-Oeste (SE/CO), responsável por 70% da capacidade de armazenamento do mercado energético nacional.

Diante disso é importante analisar quais são e qual a direção das políticas públicas que estão orientando a configuração da Matriz Elétrica Brasileira (MEB) na visão de especialistas do setor de energia sob a ótica sustentável, tanto no aspecto ambiental quanto no aspecto da garantia de fornecimento, e sob a ótica renovável, ou seja, na capacidade do recurso se renovar.

Esta seção apresenta, além desta introdução, uma contextualização sobre a relevância da temática, a questão de pesquisa, os objetivos, a justificativa, os aspectos metodológicos e a estrutura do trabalho.

1.1 Contextualização e delimitação do tema

A energia pode ser definida como a capacidade de realizar trabalho. Nas sociedades humanas, a energia teve origem na forma endossomática, ou seja, aquela que chega através de cadeias ecológicas. A fonte primária da energia dessas cadeias é o sol, ao iluminar, aquecer, transferir energia para as águas, formando nuvens e chuvas, e fornecer energia aos vegetais, através da fotossíntese (FARIAS; SELLITTO, 2011).

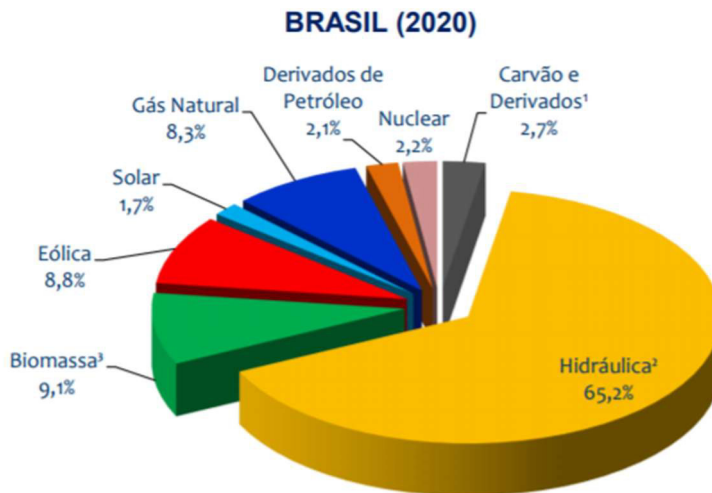
A energia elétrica é uma energia secundária. Para que se obtenha energia elétrica é necessário captá-la de fontes de energia primária. As fontes de energia primária estão disponíveis na natureza, tais como: o sol, a água (dos rios e dos mares), os ventos, a madeira, o gás natural, o carvão mineral e o petróleo. Ao longo das últimas décadas, a matriz energética de produção de energia elétrica tem-se diversificado de forma intensiva, como resposta ao aumento dos níveis de consumo (WALTER, 2010).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021a), existe uma diferença entre matriz energética e matriz elétrica, apesar de haver uma confusão conceitual. Enquanto a matriz energética representa o conjunto de fontes de energia disponíveis para, por exemplo: movimentar um veículo, aquecer ambientes e gerar eletricidade; a matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica. Portanto a matriz elétrica faz parte da matriz energética.

Em 2020, a matriz energética do Brasil foi composta quase pela metade (48,4%) por fontes renováveis. Na matriz elétrica, composta pelas fontes utilizadas para gerar energia elétrica, o Brasil atingiu, em 2020, 84,8% de fontes renováveis (hidroelétricas: 65,2%; biomassa: 9,1%; energia eólica: 8,8% e energia solar: 1,7%), demonstrada na Fig. 1, (EPE,

2021a). O gráfico demonstra que o Brasil já detém uma matriz renovável, mas não sustentável por estar baseada notadamente na energia gerada pelas bacias hidrográficas do país.

Figura 1 – Matriz elétrica brasileira.



Fonte: EPE, 2021a.

O fato do consumo de energias renováveis no Brasil ser maior que no resto do mundo, quando comparados representam 45% e 14%, respectivamente, não anula as críticas referente a sustentabilidade do modelo energético adotado pelo país, que assumiu o compromisso internacional de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e aumentar o uso de energias renováveis em 18% até 2030 (KRELL; SOUZA, 2020).

Fatores como a disponibilidade de recursos, interesses comerciais, domínio de tecnologias e a preservação do meio ambiente levaram os países a diferentes escolhas para a composição de suas matrizes elétricas (STREIMIKIENE; CIEGIS; GRUNDEY, 2007; ZHANG et al., 2009).

Francesco La Camera, Diretor Geral da *International Renewable Energy Agency* (IRENA, 2021), afirma que o ano de 2020 marca o início da década das renováveis. Com os custos caindo, os mercados de tecnologia limpa estão crescendo e os benefícios da transição energética nunca foram tão claros. Entretanto, há muito a ser feito até que se conclua a transição do uso de combustíveis fósseis para fontes renováveis.

Para que seja possível fazer a transição de uma matriz elétrica fóssil para uma matriz elétrica renovável a Agenda 2030 contribui por ter o objetivo de proteger o planeta da degradação e por defender a gestão sustentável dos recursos naturais através de medidas

urgentes para combater a mudança do clima, preservando as gerações presentes e futuras (AGENDA 2030, 2018).

O consumo de energia tem sido um componente essencial para o crescimento econômico desde a Revolução Industrial criando uma relação direta entre a acumulação de capital e a disponibilidade de fontes de energia suficientes e confiáveis. Sob essa ótica as economias mais desenvolvidas são forçadas, constantemente, a rever suas políticas de uso do recurso energético e analisar as consequências ambientais provocadas pelo uso do recurso (KRISTJANPOLLER; SIERRA; SCAVIA, 2018). Existem, portanto, interesses divergentes no tocante ao desenvolvimento econômico e desenvolvimento sustentável exigindo que sejam consideradas as duas óticas e tratados os pontos de divergência.

Diante do exposto, entende-se que uma das principais infraestruturas que baseia o crescimento econômico de um país diz respeito a geração de energia elétrica. Com o aumento da oferta interna de energia busca-se uma estratégia para garantir a manutenção da renovabilidade da matriz energética brasileira (PEREIRA *et al.*, 2012).

Portanto este estudo, através de um olhar mais voltado para o futuro, destina-se a fazer previsões para a matriz elétrica brasileira, na percepção de especialistas do setor quanto a característica renovável, ou seja, que possui a capacidade de se renovar; e quanto a característica sustentável sob dois aspectos: o ambiental porque não agride o meu ambiente ao ponto de destruí-lo e o de capacidade de fornecimento, ou seja, garante o abastecimento de energia elétrica para os diversos setores da sociedade.

No subitem a seguir está apresentada a questão de pesquisa que objetiva orientar o trabalho.

1.2 Questão de pesquisa

Considerou-se a seguinte questão para desenvolvimento desta pesquisa: Como se configura o futuro da matriz elétrica brasileira sob as óticas renovável e sustentável?

1.3 Objetivo da pesquisa

Para que a questão de pesquisa seja respondida tem-se como objetivo geral analisar a percepção dos especialistas do setor sobre o futuro da matriz elétrica brasileira, nas dimensões

renovável e sustentável. Com vistas a atender o objetivo geral estabeleceu-se os seguintes objetivos específicos:

- 1) Analisar os marcos regulatórios para o setor.
- 2) Analisar as políticas de diversificação da matriz.
- 3) Mapear as estratégias para uma matriz renovável.
- 4) Mapear as estratégias para uma matriz sustentável.
- 5) Identificar as características da matriz elétrica para o futuro.

1.4 Justificativa

O desenvolvimento do estudo destaca a relevância do conceito de sustentabilidade para o direcionamento da MEB apoiada nos pilares de Elkington (2012), denominado *Triple Bottom Line*, classificados em: pilar econômico, pilar ambiental e pilar social. Sob essa ótica, evidencia-se a necessidade de analisar o tema objetivando contribuir com a academia e com o setor de energia, no momento em que fomenta a discussão sobre a MEB à luz das ciências sociais e com base na perspectiva de profissionais que atuam no setor elétrico brasileiro indicando cenários e alternativas para o alcance de uma matriz elétrica reconhecidamente renovável e garantidamente sustentável.

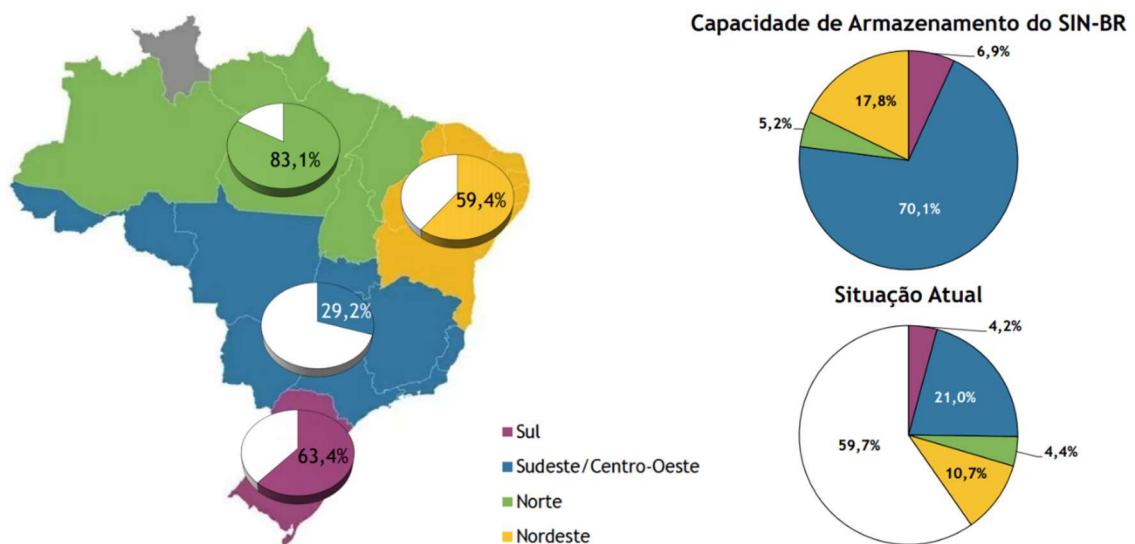
A confirmação que a matriz elétrica brasileira é predominantemente renovável está demonstrada ao representar 84,8% do total da geração interna de eletricidade (EPE, 2021a); porém, ao incluir fontes renováveis na matriz, aumenta-se a instabilidade do sistema elétrico, pois essas fontes são afetadas pelas mudanças climáticas (REICHERT; SOUZA, 2021). A instabilidade, no caso no Brasil, torna-se maior devido a matriz elétrica depender de forma expressiva da fonte hídrica, ou seja, tem-se uma matriz elétrica fortemente renovável e não sustentável, sob a ótica do não atendimento adequado à demanda por energia.

Em 2001 a crise hídrica foi o principal fator que levou o governo a promover a diversificação da matriz elétrica brasileira, em especial no que se refere ao uso de energias renováveis provenientes de outras fontes. Os aumentos da temperatura média global e o uso de combustíveis fósseis, desencadeiam riscos ao sistema de abastecimento de energia elétrica brasileiro (LIMA *et al.*, 2020). Viveu-se novamente em 2021 uma crise hídrica com os reservatórios de maior consumo de energia, como é o caso da região sudeste, com volume correspondente a 29,2% de sua capacidade, conforme pode ser observado na Fig. 2, causando insegurança no fornecimento de energia elétrica para atender o consumo dos estados mais desenvolvidos do país. Por outro lado, a região norte que detem uma reserva equivalente a

83,1% de sua capacidade, enfrenta fatores econômicos e ambientais que dificultam a geração de energia através desta reserva.

A situação da reserva hídrica utilizada pelo Sistema Interligado Nacional (SIN) na região sudeste, quando em regime normal de reposição das bacias à região, representa 70,1% do total da reserva para o sistema; em 2021 dispôs de 21% de reserva, apresentando um deficit de, aproximadamente, 50% para geração de energia. No total o deficit hídrico para geração foi de 59,7% quando somado aos deficits das outras regiões, causando insegurança no fornecimento de energia elétrica para atender o consumo das regiões mais desenvolvidas do país.

Figura 2 – Capacidade de armazenamento dos reservatórios



Fonte: ONS, 2021.

Observa-se, portanto, duas grandes discussões ocorrendo no mundo contemporâneo: o fornecimento de energia sustentável e as políticas públicas que serão adotadas para atingir uma matriz elétrica sustentável. Para que o setor de energia se torne sustentável é fundamental que o problema seja abordado, compreendendo e considerando as inovações e incrementos tecnológicos que vem sendo realizados em todo o mundo. As mudanças necessárias abrangem as políticas que direcionam as tecnologias, os investimentos, o suprimento da demanda e o comportamento dos consumidores com acesso a energia (LOPES; TAQUES, 2016). Entretanto, a solução brasileira pela expansão da oferta unicamente através

das fontes não controláveis como, por exemplo, as fontes eólica e solar, desejo cada vez mais forte de todo o planeta, ainda está distante (NEIVA; FRANKLIN NETO, 2021).

De acordo com o *The post-COVID recovery: An agenda for resilience, development and equality*, International Renewable Energy Agency - IRENA, os países envolvidos nesta agenda se comprometem a:

Aumentar a eletricidade a partir de fontes renováveis é um pré-requisito para descarbonizar o sistema de energia do mundo. No Cenário de Transformação de Energia, as energias renováveis forneceriam 57% da geração de energia global até 2030, ante 25% em 2017 (e 30% esperados em 2020). A energia eólica e solar fotovoltaica dominariam, tanto na geração de eletricidade quanto no aumento de capacidade, com um terço da eletricidade mundial proveniente de energia solar e eólica até 2030. Com relação aos setores de uso final (e incluindo a parcela de energias renováveis na eletricidade upstream e geração de calor para consumidores finais), o setor de construção civil apresentaria a maior parcela de energia renovável em 2030 (40%, com todos os usos tradicionais de biocombustíveis eliminados). A segunda maior participação de renováveis seria na indústria (incluindo altos-fornos e fornos de coque), onde as renováveis atingiriam uma participação de 29% até 2030. Transporte teria a menor participação, mas o maior crescimento, passando de 3% em 2017 para 16% do consumo final de energia do setor até 2030. Com essas medidas, o sistema energético global seria colocado no caminho seguro para o clima, previsto no panorama renovável global (IRENA, 2020, p. 45, tradução nossa).

O relatório do IRENA (2020) destaca a importância das fontes renováveis na matriz energética mundial quando considera o objetivo 7, item da Agenda 2030 (2018), que preconiza a necessidade de: assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos.

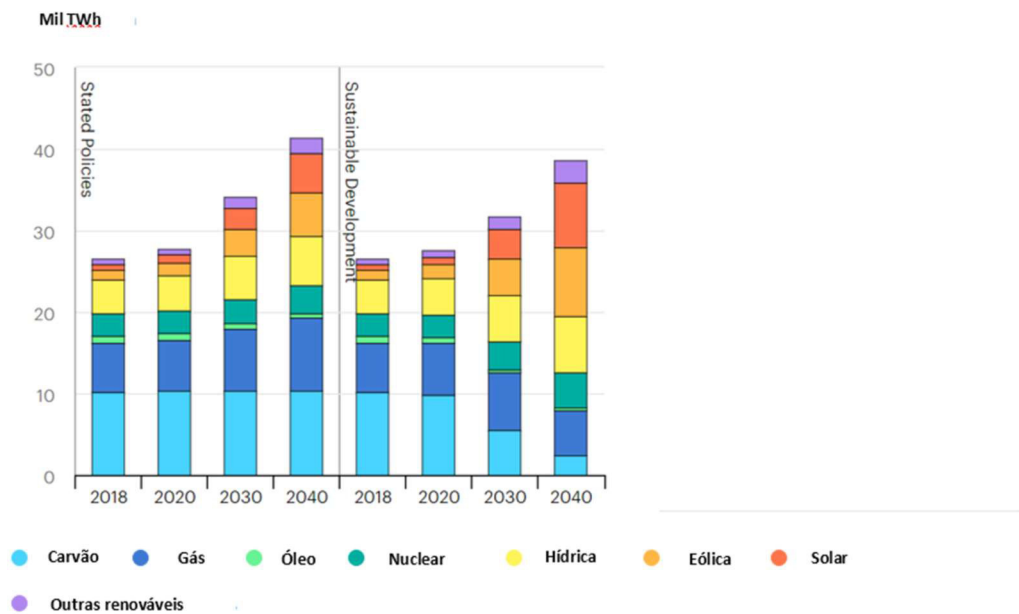
A Agência Internacional de Energia (IEA, 2017), em seu documento intitulado *Energy Technology Perspectives (2017)*, apresenta três cenários, com base em combinações de prognósticos, tendências e análises de curto prazo que buscam abordar o futuro do setor de energia e auxiliar na tomada de decisões. Esses cenários consideram diferentes casos de aumento da temperatura média e crescimento econômico até os anos de 2060 e 2100 (RAIMUNDO *et al.*, 2018). Os autores acrescentam que a Agência apresenta metodologia para calcular a emissão de CO² com o objetivo de identificar se o Brasil atenderá o acordado na Agenda 2030.

Considerando a relevância tanto no que tange a geração quanto ao consumo de energia para a economia mundial, indispensável aos diversos segmentos da atividade econômica tais como: indústria, comércio e transportes, identifica-se que a própria economia depende da geração de energia que, por sua vez, depende da disponibilidade dos recursos naturais, detentores das fontes. Portanto, a relação entre energia e desenvolvimento é intrínseca,

a ponto do indicador de consumo de energia per capita medir o nível de desenvolvimento dos países (KRELL; SOUZA, 2020). O consumo de energia per capita pode ser usado como um indicador da importância dos problemas que afetam os países da América Latina, Ásia e África onde se encontram 70% da população mundial (GOLDEMBERG, 1998).

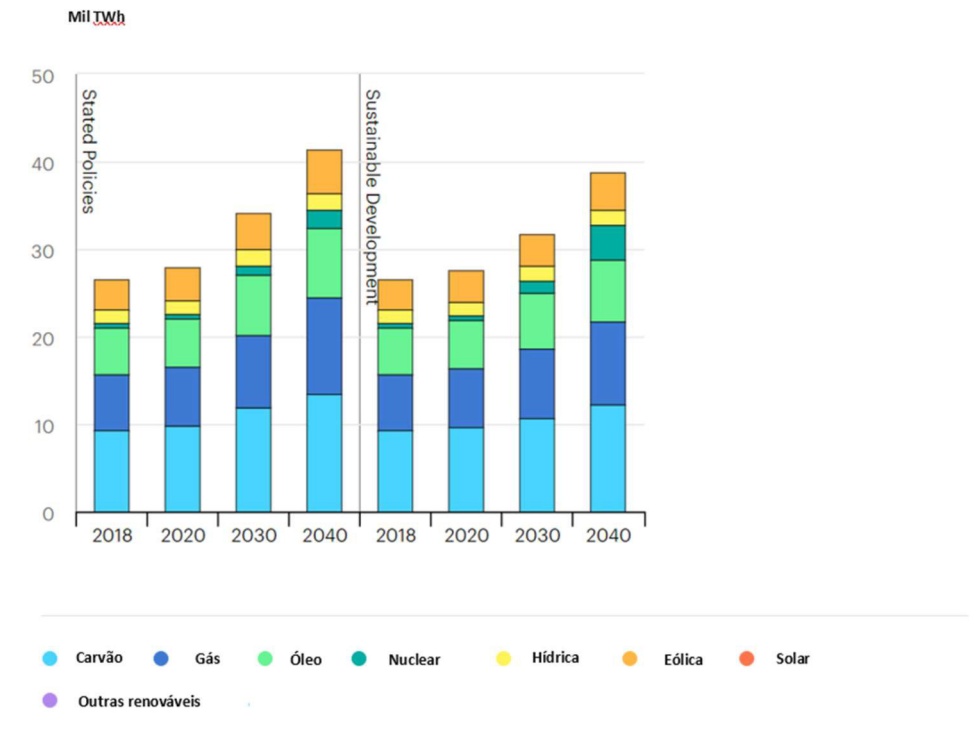
A demanda mundial por eletricidade tem aumentado mais do que a demanda geral por energia. O setor elétrico foi responsável por aproximadamente metade do crescimento da demanda global de energia na última década. No Cenário de Políticas Declaradas da IEA, a participação da eletricidade no consumo final de energia está projetada para aumentar de 19% em 2018 para 24% até 2040. Comparando com o Cenário de Desenvolvimento Sustentável da IEA, o papel da eletricidade ganha ainda mais força, chegando a 31% do consumo final de energia até 2040. Nas figuras 3 e 4, podem ser visualizados o crescimento da geração e da demanda por energia elétrica estratificada por setor e por cenário (IEA, 2021).

Fig. 3 – Geração de energia elétrica por fonte e cenário, 2018 – 2040.



Fonte: IEA, 2021.

Fig. 4 - Demanda de eletricidade por setor e cenário, 2018-2040.



Fonte: IEA, 2021.

Araújo e Oliveira (2020, p. 937) afirmam que: “a crise no setor elétrico no Brasil é uma combinação de três grandes problemas: interferência política, falta de chuvas e atrasos em investimentos”. Os autores reforçam que a energia elétrica é um requisito primordial para o desenvolvimento econômico e social dos países e que dispor de fontes de energia com a confiabilidade adequada à demanda é um fator crítico para o progresso.

O importante papel da energia elétrica, identificado como bem essencial ao desenvolvimento econômico e social, remete a necessidade de analisar a direção que a matriz elétrica brasileira está tomando bem como identificar as políticas de construção dessa matriz. Mais importante ainda é verificar se a direção tomada vai tornar a MEB sustentável, considerando as variáveis de influência tais como: a variabilidade dos recursos naturais, os interesses comerciais envolvidos, a tecnologia que permeia o setor e a necessidade da preservação do meio ambiente.

1.5 Aspectos metodológicos

Quanto a natureza a pesquisa caracteriza-se como método misto, uma vez que utiliza abordagem qualitativa e quantitativa, portanto reside no meio desse contínuo incorporando elemento das duas abordagens (CRESWELL, JOHN W.; CRESWELL, J. DAVID, 2020). A coleta foi feita por meio de dados primários, no caso um questionário estruturado e entrevistas semiestruturada com questões abertas. O questionário está baseado em indicadores que caracterizam uma matriz elétrica renovável e sustentável e foram encaminhados para profissionais que atuam no setor de energia. A entrevista baseou-se nos mesmos indicadores e foi realizada com especialistas altamente qualificados e reconhecidos no setor considerados de “notório saber”. Os dados foram tratados por meio de análise de conteúdo e estatística descritiva com suporte do Excel. Quanto aos fins, a pesquisa tem caráter descritivo.

1.6 Estrutura geral da dissertação

Este estudo está estruturado em quatro seções. A primeira refere-se à Introdução, apresentando o contexto, o problema de pesquisa, os objetivos do estudo e a justificativa indicando a relevância e o ineditismo da pesquisa no campo da Administração. A segunda seção apresenta o referencial teórico que embasa o assunto sustentabilidade tendo como núcleo o desenvolvimento de energia sustentável e seus respectivos indicadores, traz um breve histórico da evolução do Setor Elétrico Brasileiro (SEB), ressalta as fontes da Matriz Elétrica Brasileira (MEB), apresenta os principais marcos regulatórios do setor e finaliza com os estudos empíricos anteriores. A terceira seção aborda os aspectos metodológicos, com destaque para a tipologia da pesquisa, o campo da pesquisa, os procedimentos e instrumentos de coleta de dados e as questões relativas à análise dos dados. A quarta seção apresenta a análise dos resultados e, finalmente, apresenta-se a conclusão.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção estão apresentados os conceitos que fundamentaram a realização do presente estudo, iniciando com a discussão sobre sustentabilidade e especificando o desenvolvimento e a relação da sustentabilidade com a energia. Em seguida estão apresentadas a evolução histórica da Matriz Elétrica Brasileira - MEB, distinguindo as principais fontes energéticas no país e elucidando os marcos regulatórios do setor. Por fim, são apresentados os estudos empíricos anteriores já existentes sobre a matriz.

2.1 Sustentabilidade

O conceito de sustentabilidade surgiu na Alemanha e foi definido com o termo *Nachhaltigkeit* em 1713, originado pela preocupação em preservar os recursos naturais das florestas com foco na manutenção da fertilidade do solo e, posteriormente, garantir o extrativismo florestal sem comprometer as gerações futuras (WIERSUM, 1995).

Para considerar algo sustentável é necessário analisar a necessidade de consumo atual, traçar uma projeção de necessidade de consumo futura e relacionar a forma como os recursos eram usados no passado, como estão sendo usados no presente e como serão usados no futuro (MARIANO *et al.*, 2016). Portanto, a sustentabilidade é descrita por uma meta que, mesmo que superficial, é indiscutivelmente desejável, entretanto, como o conceito é definido de forma ampla, é propenso a interpretações diversas, o que cria potencial para mal-entendidos (WIERSUM, 1995).

“Um dos segmentos que mais tem recebido destaque e relevância no que tange à sustentabilidade é a questão energética mundial. A demanda por energia que os hábitos atuais impõem ao sistema de geração é cada vez maior” (DUPONT *et al.*, p. 71, 2015).

“A sustentabilidade surgiu como três coisas: uma crítica, um conjunto de princípios que implicam objetivos positivos e um foco para estratégias de mudança” (GIBSON, 2001, p. 9). O autor, um cientista político, alegava que a degradação ambiental contínua levaria não apenas ao esgotamento de recursos locais e danos às funções ecológicas essenciais, mas também a efeitos globais cumulativos. Concluía que o crescimento da população mundial apontava para um futuro preocupante em um mundo que poderia não suprir as necessidades da população.

O *Brundtland report, Our Common Future* (WCED, 1987), fala de duas preocupações importantes que devem convergir: desenvolvimento e meio ambiente, em outras palavras, desenvolvimento significando curto prazo e o meio ambiente significando longo

prazo. Partindo desse princípio a sustentabilidade é normalmente considerada em três dimensões: social, econômica e ambiental. A ideia de sustentabilidade em três dimensões derivou do conceito *Triple Bottom Line* de Elkington, em 1997 (KUHLMAN; FARRINGTON, 2010). Sob esse enfoque o desenvolvimento sustentável deve respeitar a economia, o meio ambiente e a sociedade, estabelecendo metas de desenvolvimento para cada dimensão de forma integrada e simultânea.

Definindo o conceito de *Triple Bottom Line* em cada dimensão tem-se: i) Pilar econômico, oriundo da teoria econômica tradicional, refere-se ao lucro e está dividido entre capital físico e capital financeiro; entretanto para que a empresa seja considerada economicamente sustentável deve levar em conta o capital humano, o capital intelectual, o capital natural e o capital social. Além disso, para que atinja estes resultados a empresa deve incluir a sustentabilidade de longo prazo: dos custos, da demanda, dos preços, do lucro, das inovações e do ambiente de negócio da empresa; ii) Pilar ambiental, refere-se ao capital natural. O capital natural é dividido de duas formas: capital natural crítico, essencial para a manutenção da vida e integridade do ecossistema, e capital natural renovável, aqueles que podem ser renovados ou substituído pelo homem. Portanto para que a empresa seja ambientalmente sustentável é necessário que contabilize o que sustenta o ecossistema em que interfere; iii) Pilar social, refere-se ao capital humano, portanto para que a empresa seja considerada socialmente sustentável deve contemplar a saúde, habilidade e educação humana bem como a saúde da sociedade e seu potencial de criar riqueza (ELKINGTON, 2012).

Um ponto importante levantado por Gibson (2001), foi distinguir desenvolvimento econômico de desenvolvimento social quando afirmou que “os ganhos materiais não são medidas suficientes ou preservadoras do bem-estar humano”, portanto sugere acrescentar um pilar cultural e um pilar político ao estudo de sustentabilidade. Percebe-se, portanto, uma incompatibilidade entre os termos desenvolvimento e crescimento econômico. O termo desenvolvimento se refere a melhoria, a mudança e a movimento. O crescimento econômico se refere a multiplicação de riqueza material. O crescimento é necessário, mas não é um objetivo em si mesmo e não é suficiente para que se atinja uma vida melhor. Já o desenvolvimento é um direito humano, seguido dos direitos coletivos ao meio ambiente, de modo que a igualdade, a equidade e a solidariedade estão a ele agregados (KRELL; SOUZA, 2020).

Diante da amplitude do conceito de sustentabilidade, e considerando os diferentes pontos de vista sobre o tema, é necessário comentar as abordagens conceituais sobre desenvolvimento sustentável, assunto tratado no subitem a seguir.

2.1.1 *Desenvolvimento Sustentável*

No início da década de 1950 o conceito de desenvolvimento estava reduzido ao conceito de crescimento econômico, entendia-se que o desenvolvimento só ocorreria com o crescimento econômico. Constatou-se na década de 1970 que a alta taxa de crescimento alcançada pelos países ocidentais não refletia desenvolvimento e ainda causava efeitos negativos tanto para humanidade como para o meio ambiente, o que levou ao surgimento do conceito de desenvolvimento sustentável (UDEMBA; TOSUN, 2022).

O desenvolvimento sustentável consiste essencialmente na melhoria da qualidade de vida de uma forma que pode ser sustentada, econômica e ambientalmente, a longo prazo com o apoio da estrutura institucional do país. Por isso, o desenvolvimento sustentável aborda quatro grandes dimensões: social, econômica, ambiental e institucional (IAEA, 2005, p. 16)

O conceito de desenvolvimento sustentável é normativo e surgiu com o nome de ecodesenvolvimento no início da década de 1970. Ele surgiu na relação entre crescimento econômico e meio ambiente após a publicação do relatório do Clube de Roma que pregava “crescimento zero como forma de evitar uma catástrofe ambiental” (MAY; LUSTOSA; VINHA, 2003).

Conforme o *Brundtland Report, Our Common Future* (WCED, 1987), a humanidade é capaz de tornar o desenvolvimento sustentável para garantir que ele atenda às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades. O relatório enfatiza que o conceito de desenvolvimento sustentável implica limites porque a biosfera não é capaz de absorver os efeitos das atividades humanas, entretanto a tecnologia e a organização social podem ser gerenciadas possibilitando a abertura de uma nova era de crescimento econômico.

Segundo May, Lustosa e Vinha (2003), na tentativa de decodificar o *Brundtland Report*, identificam-se duas correntes que dividem as principais interpretações para os preceitos ditados pelo relatório, quais sejam: sustentabilidade fraca, onde não são reconhecidas as características únicas de certos recursos naturais e, por esses recursos não serem produzidos, não podem ser substituídos pelo homem, ou seja, o consumo do recurso pode ser irreversível; e sustentabilidade forte, onde o progresso tecnológico e científico é essencial para aumentar a

eficiência na utilização dos recursos, sejam eles renováveis ou não-renováveis. Entende-se, portanto, que as correntes divergem na forma de como o recurso será utilizado.

Sob outra ótica, o desenvolvimento sustentável representa um modelo ecologicamente organizado que busca compatibilizar o desenvolvimento e o meio ambiente, levando em conta os problemas ambientais e propiciando a gestão racional dos recursos naturais. O desenvolvimento sustentável é um conceito multifacetado integrando a economia e sociedade, através da preocupação com o meio ambiente, com a igualdade e a justiça entre gerações (LIMA, 2012).

O movimento que acontece em âmbito mundial elegendo o desenvolvimento sustentável como base (política, teórica, etc.) para orientar a relação do ser humano com o meio ambiente, vem impactando todos os países na construção dos postulados referentes ao assunto e determinam a elaboração da legislação ambiental dentro e fora do Brasil (PAPP, 2019).

O conceito de desenvolvimento sustentável permanece relevante, pois foi assunto da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio + 20), realizada no Rio de Janeiro em 2012. Um dos principais resultados da conferência foi o acordo dos Estados membros em estabelecer metas úteis para alcançar o desenvolvimento sustentável, considerado uma prioridade nas agendas internacionais e nacionais, 25 anos após o conceito ter sido lançado pelo relatório *Brundtland* (HOLDEN; LINNERUD; BANISTER, 2014).

Novamente, Chefes de Estado e de Governo reuniram-se na sede das Nações Unidas, em Nova York, no ano de 2015, para deliberarem sobre os novos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável globais com agenda até 2030. O Fórum em questão elaborou o documento “Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”. No documento constam 17 Objetivos e 169 metas contemplando as três dimensões do desenvolvimento sustentável, quais sejam, a dimensão econômica, a dimensão social e a dimensão ambiental. Os objetivos e metas entraram em vigor em 1º de janeiro de 2016 e orientam as decisões até o ano de 2030.

As Metas Nacionais Brasileiras (*Nationally Determinated Contributions - NDC*) em energia para agenda 2030 são: a) aumentar a participação da bioenergia sustentável na matriz energética para aproximadamente 18% até 2030; b) atingir 45% de energias renováveis na composição da matriz energética em 2030, incluindo: (i) 33% de fontes renováveis (além da hídrica) na matriz; (ii) expandir o uso doméstico de fontes de energia não fóssil, ampliando o fornecimento de energia elétrica (além da hídrica) para ao menos 23% até 2030; e (iii) alcançar

10% de ganhos de eficiência no setor elétrico até 2030 (<<https://blog.waycarbon.com/2016/10/ndc-corrída-energetica-com-barreiras/>>).

Tomando como base a forte relação entre desenvolvimento e geração de energia (KRISTJANPOLLER; SIERRA; SCAVIA, 2018; KRELL; SOUZA, 2020), surge a necessidade de discorrer conceitualmente sobre desenvolvimento de energia sustentável, assunto abordado no subitem a seguir.

2.1.2 Desenvolvimento de Energia Sustentável

A Agência Internacional de Energia – IEA, do inglês *International Energy Agency*, define as energias renováveis como aquelas derivadas de processos naturais que, diferente dos combustíveis fósseis, possuem a capacidade de se renovarem constantemente (BIZAWU; AGUIAR, 2016). Sob esse enfoque, para que haja desenvolvimento sustentável a penetração de fontes renováveis de energia como uma opção além dos combustíveis fósseis deverá ser considerada (NEMET *et al.*, 2016). Portanto, o desenvolvimento de energia sustentável, considera àquelas fontes que apresentam a característica primária de se renovar.

Nos anos 70, com a ameaça de escassez de petróleo, a preocupação com energia estava ligada unicamente ao fornecimento deste insumo para os meios produtivos. Entretanto, a partir dos anos 80, as grandes nações compreenderam que, na verdade, o principal problema da geração e consumo de energia estava ligado à preservação do meio ambiente (MAY; LUSTOSA; VINHA, 2003). Os recursos de energia renovável são utilizados há milhões de anos; entretanto, a noção da utilização e de gestão sustentáveis desses recursos é relativamente nova (GUNNARSDOTTIR *et al.*, 2020).

As questões ligadas ao desenvolvimento de energia sustentável evoluíram e sofreram mudanças ao longo do tempo, espelhando o que ocorreu em relação ao desenvolvimento sustentável. Em princípio a energia focava o contexto da redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e da melhoria da qualidade do ar. Atualmente, o desenvolvimento de energia sustentável foca, também, os três pilares do desenvolvimento sustentável: economia, sociedade e meio ambiente. Portanto, o papel que a energia desempenha na promoção do crescimento econômico e do desenvolvimento social considera o aumento da demanda de energia e esgotamento de fontes de combustíveis fósseis, eficiência energética e uma transição para fontes renováveis (GUNNARSDOTTIR *et al.*, 2021).

Os três pilares de sustentabilidade estabelecem inúmeros desafios no processo de tomada de decisão, porque devem ser representados no planejamento energético e devem abordar realidades como mudança climática e escassez de recursos. Os desafios são potencializados porque a sociedade moderna tende a estimular o crescimento econômico em detrimento do meio ambiente (GUDLAUGSSON et al., 2020).

No que tange a geração de energia a Agenda 2030 compromete-se através do Objetivo 7: Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia, para todos. O objetivo inclui os subitens: 7.1. até 2030, assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia; 7.2. até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global; 7.3. até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética; 7.a até 2030, reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia limpa, incluindo energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas, e promover o investimento em infraestrutura de energia e em tecnologias de energia limpa; 7.b até 2030, expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos nos países em desenvolvimento, particularmente nos países de menor desenvolvimento relativo, nos pequenos Estados insulares em desenvolvimento e nos países em desenvolvimento sem litoral, de acordo com seus respectivos programas de apoio.

Levando-se em consideração os limites impostos pela natureza e promovendo um desenvolvimento mundial de forma sustentável, a transição para uma matriz energética global mais renovável não se dará de forma abrupta. As razões que justificam a dificuldade na transição da matriz estão baseadas no modelo energético não-renovável atual, tais como: (i) o elevado nível de consumo material e energético em países desenvolvidos, que se reflete também em maior ou menor escala em países emergentes, (ii) a infraestrutura energética não-renovável já estabelecida, planejada com vistas ao longo prazo e de forma capital-intensiva, (iii) a crescente demanda por serviços relacionados à energia em todo o mundo, e (iv) o crescimento populacional (BIZAWU; AGUIAR, 2016).

No caso do Brasil, uma das dificuldades para transição da Matriz Elétrica Brasileira (MEB) se dará na medida em que, com maior participação de fontes renováveis não despacháveis na matriz elétrica, o Operador Nacional do Sistema (ONS) necessitará de um planejamento mais complexo para prever o sistema elétrico brasileiro. Entretanto, a dificuldade poderá estimular a busca por soluções de armazenamento de energia, como opção para garantir

a segurança do sistema (REICHERT; SOUZA, 2021). O principal benefício com a diversificação da matriz elétrica será reduzir a geração de energia por fontes hídrica e térmica, que representavam respectivamente em 2020, 62,5% e 24,6% da capacidade instalada no país (EPE, 2021b).

Importante ressaltar que fontes despacháveis, são aquelas em que é possível controlar a geração de energia e existe a possibilidade de armazenamento gerando energia conforme a demanda. São exemplos de fontes despacháveis: hidrelétrica, biomassa, biogás e termelétrica.

É importante que aqueles que definem os diferentes programas de energia, políticas, estratégias e planos alternativos com vistas ao desenvolvimento dos países trabalhem para tornar o desenvolvimento sustentável. Neste sentido foram criados indicadores, considerados ferramentas úteis com o objetivo de comunicar dados relativos a questões de energia e desenvolvimento sustentável aos que formulam as políticas e ao público, além de promover o diálogo institucional. Os indicadores também podem ser usados para monitorar o avanço das políticas anteriores e verificar as estratégias reais de desenvolvimento sustentável futuro (VERA; LANGOIS; ROGNER, 2005).

Com base na necessidade de medir e avaliar quão sustentável tem sido o desenvolvimento energético dos países, bem como planejar o futuro, na próxima seção são apresentadas a história e evolução dos Indicadores de Energia para o Desenvolvimento Sustentável.

2.1.3 Indicadores de Energia para o Desenvolvimento Sustentável

Indicadores de sustentabilidade cuidadosamente selecionados podem fornecer informações valiosas para monitorar o progresso e informar a política (GUNNARSDOTTIR *et al.*, 2020). Os autores classificam os indicadores sob três óticas, a seguir: i) estrutura de cadeia causal, significando que é possível estruturar um problema em relações de causalidade e, portanto, identificar causas e efeitos; ii) estrutura temática, significando tipos de estruturas comumente usadas e frequentemente associadas a metas de políticas, utilizados no desenvolvimento de conjuntos de indicadores nacionais; iii) estrutura da dinâmica do sistema, significando que por meio de uma abordagem sistêmica é possível investigar a dinâmica complexa do Desenvolvimento de Energia Sustentável (SED) bem como observar como afetam a entrega de resultados dos indicadores.

Gunnarsdottir *et al.* (2020), através de uma análise minuciosa, identificaram as características dos conjuntos de indicadores existentes para o SED. De acordo com esta análise a adequação dos conjuntos de indicadores existentes varia consideravelmente, no entanto, um conjunto de indicadores atendeu a todos os critérios de avaliação estabelecidos podendo ser considerado abrangente e robusto, denominado: Indicadores de Energia para o Desenvolvimento Sustentável (EISD). O EISD garante que todas as três dimensões do desenvolvimento sustentável são consideradas, e é representativo para o Desenvolvimento de Energia Sustentável (SED). Os autores afirmam que os EISD's visam permitir que os países avaliem seu progresso em direção ao SED, sem necessidade de comparar o seu progresso com os de outros países.

O EISD original considerou as dimensões econômica, social, ambiental e institucional do desenvolvimento sustentável. Durante a primeira fase do projeto EISD, a *International Atomic Energy Agency* -IAEA, em cooperação com a *United Nations Department of Economic and Social Affairs* - UNDESA, a *International Energy Agency* - IEA e vários Estados Membros, trabalharam na identificação de questões importantes dentro de cada uma dessas dimensões do desenvolvimento sustentável objetivando definir um conjunto de indicadores de energia aplicáveis a todos os países em consonância com a *Commission on Sustainable Development* – CDS (VERA et al., 2005).

Os indicadores estão divididos em três dimensões: social, econômica e ambiental; as questões institucionais são amplamente consideradas como respostas e não são prontamente quantificadas como indicadores. Embora uma estrutura institucional sólida seja essencial para um sistema de energia eficiente e confiável, indicadores que reflitam essa dimensão institucional ainda estão sendo desenvolvidos e podem ser incorporados ao EISD em um estágio posterior (IAEA, 2005, p. 16).

Os EISD estão, portanto, classificados nas três dimensões (social, econômica e ambiental) e, na versão final, consistem em 30 indicadores. Estes são ainda classificados em sete temas e 19 subtemas. Alguns dos indicadores podem ser classificados em mais de uma dimensão, tema ou subtema, por apresentarem interligações entre essas categorias. Adicionalmente, cada indicador pode representar um grupo de indicadores relacionados necessários para avaliar uma questão específica, Quadro 1.

Quadro 1 – Indicadores de energia para o desenvolvimento sustentável

Social					
Tema	Subtema	Indicador		Métrica	
Equidade	Acessibilidade	SOC1	Parcela de domicílios (ou população) sem eletricidade ou energia comercial ou fortemente dependente de energia não comercial	- Famílias (ou população) sem eletricidade ou energia comercial ou fortemente dependente de energia não comercial - Número total de famílias ou população	
	Disponibilidade	SOC2	Parte da renda familiar gasta com combustível e eletricidade	- Renda familiar gasta com combustível e eletricidade - Renda familiar (total e 20% mais pobres da população)	
	Disparidade	SOC3	Uso doméstico de energia para cada grupo de renda e tipos de combustível utilizados	- Uso de energia por família para cada grupo de renda (quartil) - Renda familiar para cada grupo de renda (quartil) - Combustível utilizado por cada grupo de renda (quartil)	
Saúde	Segurança	SOC4	Mortes em acidentes por energia produzida pela cadeia de combustível	- Mortes anuais por cadeia de combustível - Produção anual de energia	
Econômico					
Tema	Subtema	Indicador		Métrica	
Padrão de produção e consumo	Uso geral	ECO1	Uso de energia per capita	- Uso de energia (fornecimento total de energia primária, consumo final total e uso de eletricidade) - População total	
	Produtividade Geral	ECO2	Uso de energia por unidade do PIB	- Uso de energia (fornecimento total de energia primária, consumo final total e uso de eletricidade) - PIB	
	Eficiência de abastecimento	ECO3	Eficiência de conversão e distribuição de energia	- Perdas em sistemas de transformação, incluindo perdas em geração, transmissão e distribuição de eletricidade	
	Produção		ECO4	Proporção de reservas para produção	- Reservas recuperáveis comprovadas - Produção total de energia
			ECO5	Proporção de recursos para produção	- Recursos totais estimados - Produção total de energia
	Uso final		ECO6	Potência de energia industrial	- Uso de energia no setor industrial e por ramo de manufatura - Valor agregado correspondente
			ECO7	Potência de energia agrícola	- Uso de energia no setor agrícola

				- Valor agregado correspondente
		ECO8	Potência de energia comercial / serviço	- Uso de energia no setor comercial / de serviços - Valor agregado correspondente
		ECO9	Potência de energia doméstica	- Uso de energia em residências e por uso final principal - Número de domicílios, área útil, pessoas por domicílio, propriedade do aparelho
		ECO10	Potência de energia de transporte	Uso de energia em viagens de passageiros e setores de frete e por modo - Viagem de passageiros-km e frete tonelada-km e por modo
	Diversificação (Tipos de combustível)	ECO11	Compartilhamento de combustível em energia e eletricidade	- Fornecimento de energia primária e consumo final, geração de eletricidade e capacidade de geração por tipo de combustível - Fornecimento total de energia primária, consumo final total, geração total de eletricidade e capacidade de geração total
		ECO12	Participação de energia sem carbono na energia e eletricidade	- Fornecimento primário, geração de eletricidade e capacidade de geração por energia não-carbono - Fornecimento total de energia primária, geração total de eletricidade e capacidade de geração total
		ECO13	Participação de energias renováveis em energia e eletricidade	- Fornecimento de energia primária, consumo final e geração e capacidade de geração de eletricidade por meio de energias renováveis - Fornecimento total de energia primária, consumo final total, geração total de eletricidade e capacidade de geração total
	Preços	ECO14	Preços de energia de uso final por combustível e por setor	- Preços de energia (com e sem imposto / subsídio)
Segurança	Importações	ECO15	Dependência de importação de energia líquida	- Importação de energia - Fornecimento total de energia primária
	Estoque estratégico de combustível	ECO16	Estoques de combustíveis críticos por consumo de combustível correspondente	- Estoques de combustíveis críticos (por exemplo, óleo, gás, etc.) - Consumo crítico de combustível
Ambiental				
Tema	Subtema	Indicador		Métrica

Atmosfera	Mudança climática	ENV1	Emissões de GEE da produção e uso de energia per capita e por unidade do PIB	- Emissões de GEE da produção e uso de energia - População e PIB
	Qualidade do ar	ENV2	Concentrações ambientais de poluentes atmosféricos em áreas urbanas	- Concentrações de poluentes no ar
		ENV3	Emissões de poluentes atmosféricos de sistemas de energia	- Emissões de poluentes atmosféricos
Água	Qualidade da água	ENV4	Descargas de contaminantes em efluentes líquidos de sistemas de energia, incluindo descargas de óleo	- Descargas de contaminantes em efluentes líquidos
Solo	Qualidade do solo	ENV5	Área do solo onde a acidificação excede a carga crítica	- Área de solo afetada - Carga crítica
	Floresta	ENV6	Taxa de desmatamento atribuída ao uso de energia	- Área de floresta em dois momentos diferentes - Utilização de biomassa
	Geração e Gerenciamento de Resíduos Sólidos	ENV7	Razão de geração de resíduos sólidos para unidades de energia produzida	- Quantidade de resíduos sólidos - Energia produzida
		ENV8	Proporção de resíduos sólidos devidamente descartados em relação ao total de resíduos sólidos gerados	- Quantidade de resíduos sólidos devidamente descartados - Quantidade total de resíduos sólidos
		ENV9	Proporção de resíduos sólidos radioativos para unidades de energia produzida	- Quantidade de lixo radioativo (cumulativo por um período de tempo selecionado) - Energia produzida
		ENV10	Proporção de resíduos sólidos radioativos aguardando disposição em relação ao total de resíduos sólidos radioativos gerados	- Quantidade de rejeitos radioativos aguardando disposição - Volume total de rejeitos radioativos

Fonte: International Atomic Energy Agency – IAEA (2005).

O EISD na dimensão social mede o impacto que os serviços de fornecimento de energia causam ao bem-estar social. Quando o fornecimento de energia não está disponível e acessível a todos acarreta pobreza, desemprego, impacta a educação, o desenvolvimento comunitário e a cultura, a transição demográfica, a poluição interna e a saúde.

O EISD econômico mede como os padrões de consumo, de geração de energia e a qualidade dos serviços no fornecimento de energia afetam o avanço do desenvolvimento econômico, bem como a situação do setor de energia no país podem melhorar as chances de desenvolvimento econômico sustentável e a longo prazo.

O EISD ambiental mede o impacto dos sistemas de geração de energia no meio ambiente, com o objetivo de determinar as tendências, sejam positivas ou negativas, na qualidade da terra, da água (rios e oceanos) e a qualidade do ar. Os impactos ambientais variam dependendo de como a energia é gerada e consumida bem como com os marcos regulatórios do setor de energia. A queima de combustíveis fósseis polui a atmosfera, causando má qualidade do ar local e acidificação do ar da região. Centrais hidrelétricas inundam terras e podem causar assoreamento de rios. A geração por fonte fóssil, nuclear e geotérmica, emitem radiação e geram resíduos tóxicos. As turbinas eólicas provocam poluição visual, principalmente em áreas não exploradas. O uso de lenha pode levar ao desmatamento e à desertificação. Portanto, as principais questões relacionadas à dimensão ambiental incluem mudanças climáticas globais, poluição do ar, poluição da água, resíduos, degradação do solo e desmatamento. (VERA et al., 2005).

Para que se possa identificar a composição e analisar a Matriz Elétrica Brasileira é necessário percorrer a história da eletricidade no Brasil com o objetivo de entender como a matriz elétrica brasileira foi planejada e como evoluiu, assunto abordado na próxima seção.

2.2 Um breve histórico da Matriz Elétrica Brasileira

Desde os primórdios a humanidade busca formas de energia que a ajudem minimizar o esforço na execução de atividades e, conseqüentemente, atender às suas necessidades. Com a evolução do conhecimento humano as atividades foram sendo adaptadas às necessidades humanas que se tornaram cada dia maiores, ao ponto de ser impossível imaginar a vida sem eletricidade nos centros urbanos (BELO; SILVA, 2016). A geração de energia elétrica é oriunda do conhecimento desenvolvido pelo homem em transformar energia primária em energia secundária com o objetivo de realizar trabalho.

O homem de Cro-Magnum possuía hábitos diurnos, portanto desde o princípio houve a preocupação para se obter uma forma de luz artificial, uso final da energia. Com o domínio do fogo, produzido através de um ramo de vegetal resinoso, o homem deu o primeiro passo para alcançar esse objetivo (FARIAS; SELLITTO, 2011). Pode-se afirmar que a produção do fogo deu início a história do uso da energia no mundo, proporcionou a descoberta da eletricidade e difundiu a produção de energia elétrica de forma globalizada.

A importância da energia elétrica é cada vez mais evidente na forma de organização da vida das nações e dos indivíduos, num processo de valorização crescente dessa

fonte de energia que vem desde o começo da sua exploração comercial nos EUA e na Europa no final do século XIX. Apesar de atualmente ser um bem essencial à sociedade, a energia elétrica tem sua importância pouco divulgada, principalmente em relação aos fatos históricos e aos interesses e influências políticas e econômicas que levaram o setor elétrico brasileiro à sua atual configuração (GOMES; VIEIRA, p. 296, 2005).

No Brasil a história da energia elétrica iniciou-se em 1879, através da concessão que D. Pedro II fez a Thomas Alva Edison para implantar o serviço de iluminação pública no Rio de Janeiro, quando foi inaugurada a Estação Central da Estrada de Ferro D. Pedro II, atual Central do Brasil (JANNUZZI, 2007).

A geração de energia elétrica começou com investimentos oriundos de proprietários de indústrias que necessitavam garantir o fornecimento de energia para suas produções. Com esse objetivo, a primeira unidade de geração de energia foi uma usina termelétrica instalada em Campos, no Rio de Janeiro, em 1883. Em 1889, entrou em operação a Usina Marmelos Zero, a primeira hidrelétrica de grande porte no país. Em 1899 o grupo Light instala-se no Brasil, inicialmente em São Paulo e posteriormente no Rio de Janeiro resultado da disponibilidade de recursos estrangeiros para investimentos. Em 1907, com a Usina São de Fontes, a maior do mundo na época, consolida o capital estrangeiro no setor (SILVEIRA, 2018; GOMES; VIEIRA, 2009).

Em 1934, Getúlio Vargas promulgou o Código de Águas, primeiro marco regulatório do setor elétrico no Brasil. Em 1939, com o início da II Guerra Mundial e a delicada situação econômica do País, devido a evasão de capital estrangeiro, levou o governo federal a criar o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE), subordinado à Presidência da República, responsável por todos os assuntos referentes ao setor elétrico. Iniciava-se, assim, o processo de instalação das grandes estatais para o fornecimento de energia elétrica (GOMES; VIEIRA, 2009).

Em 1945 a primeira empresa estatal federal de geração de energia elétrica, a Companhia Hidroelétrica de São Francisco - CHESF, foi criada para atender à demanda da região Nordeste. Em 1957, no governo Kubitschek, governo com acelerado crescimento econômico e alta prioridade dos projetos do setor de energia elétrica, foi fundada a segunda empresa geradora federal de energia, Furnas. Em 1960 foi criado o Ministério de Minas e Energia (MME), com o foco de prover o Brasil da energia elétrica demandada pelo forte crescimento (GOMES; VIEIRA, 2009).

Em 1962 foi criada as Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – Eletrobrás, empresa responsável por controlar Furnas, Chesf e Light além de outras empresas, contrariando vários interesses. Gradativamente a empresa passou a gerir o planejamento, o financiamento e a operação do sistema elétrico brasileiro. A construção de Itaipu, ainda considerada uma das maiores hidroelétricas do mundo, reforçou as ações da Eletrobrás como coordenadora do planejamento e da operação do Sistema Elétrico Brasileiro - SEB (MERCEDDES; RICO; POZZO, 2015; GOMES; VIEIRA, 2009).

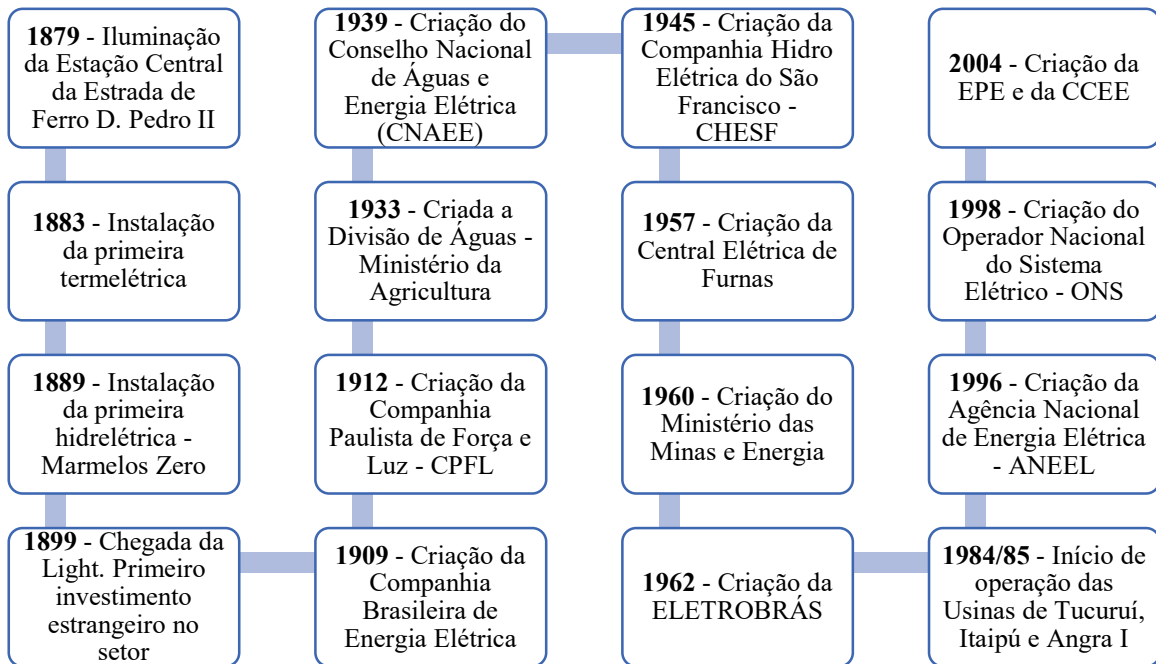
O setor elétrico brasileiro passou por duas grandes mudanças. Inicialmente financiada pelo capital estrangeiro foi nacionalizada no processo de estatização que o Brasil conduziu a partir de 1964, com a criação das empresas federais de geração e das empresas estatais de distribuição de energia. A segunda grande mudança se deu com o processo de privatização, iniciado em 1995, revertendo o processo de nacionalização instalado anteriormente. Em 1996 foi criada a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL com o objetivo de regular o setor elétrico, iniciava-se, portanto, o processo de divisão das atribuições da Eletrobrás (GOMES; VIEIRA, 2009).

As privatizações acarretaram a implantação de uma série de medidas que alteraram profundamente o setor elétrico, portanto o governo federal criou em 1998 o Operador Nacional do Sistema – ONS, com o objetivo de realizar a operação do Sistema Interligado Nacional - SIN. A Eletrobrás perdia mais uma atribuição (GOMES; VIEIRA, 2009).

Em 2004 a Empresa de Pesquisa Energética - EPE foi criada retomando o planejamento centralizado no setor. A empresa está vinculada ao Ministério de Minas e Energia - MME com o fim de prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético que inclui energia elétrica, petróleo e gás natural e derivados, carvão mineral, fontes renováveis e eficiência energética. Ainda em 2004 foi criada e começou a operar a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE com a finalidade de efetuar a contabilização e a liquidação financeira das operações realizadas no mercado de curto prazo (COSTA, 2017).

A Fig. 5 apresenta a linha do tempo da evolução histórica do setor de energia elétrica no Brasil.

Figura 5 – Linha do tempo – energia elétrica no Brasil



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Com base na história da energia elétrica no Brasil no próximo item são apresentadas as fontes de geração de energia disponíveis no país, elencando as suas respectivas especificidades.

2.3 Fontes de geração de energia

Como já dito anteriormente, a energia que vem do Sol é responsável por boa parte das fontes de energia primária do planeta. Parte da radiação solar fornece calor, outra parte da radiação solar forma os ventos, outra parte forma os potenciais hidráulicos dos rios (por evaporação e condensação) e a última parte forma as correntes marinhas. Os vegetais incorporam a radiação solar através da fotossíntese (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

Ao longo do tempo a matéria orgânica oriunda dos restos de animais e plantas se acumulou formando as chamadas fontes fósseis de energia, que são: petróleo, carvão mineral, gás natural, xisto betuminoso e urânio. Esses elementos são as fontes primárias de energia. (GOLDEMBERG; LUCON, 2007). Além das fontes fósseis classificam-se como fontes primárias o sol, o vento, os rios e mares, a biomassa e a geotérmica. As fontes primárias são matéria prima para geração de energia final como, por exemplo, a energia elétrica denominada fonte secundária (CORRÊA, 2019).

Portanto, a energia pode ser obtida por meio da transformação de fontes primárias. O hidrogênio, por sua vez, é considerado como fonte secundária porque precisa ser gerado para produzir energia e não é repostado pela natureza (EPE, 2021a).

Nos subitens seguintes apresenta-se uma breve descrição das fontes primárias de energia, classificadas em não renováveis e renováveis, que quando transformadas são fontes potencialmente geradoras de energia elétrica.

2.3.1 Fontes não renováveis

As fontes de energia não renováveis são finitas. Para a maioria dessas fontes a reposição na natureza é muito longa porque depende de um processo de milhões de anos sob condições especiais de temperatura e pressão. São exemplos de fontes não renováveis: carvão mineral, hidrocarbonetos (petróleo e gás natural) e urânio (CORRÊA, 2019). Com exceção do urânio, o carvão mineral e os hidrocarbonetos são fontes fósseis.

Fontes fósseis caracterizam-se por emitir o dióxido de carbono (CO_2), o gás metano (CH_4) e outras substâncias na atmosfera por processos naturais e antropogênicos (causados pelo homem) (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

A energia nuclear apesar de não renovável é considerada uma fonte de energia limpa por não produzir Gases de Efeito Estufa (GEE) diferente das fontes fósseis que são combustíveis, ou seja, necessitam ser queimadas para produzir energia (EPE, 2021a).

Figura 6 – Oferta interna de energia não renovável



Fonte: BEN 2021, Relatório Síntese, ano base 2020.

Na Fig. 6, acima, estão representadas as fontes de energia não renováveis ofertadas no Brasil, representando 51,6% da oferta.

2.3.2 Fontes renováveis

“A energia renovável é entendida como todo tipo de energia que, de algum modo, retorna à sua origem no ciclo de transformações energéticas no qual se insere” (CORRÊA, p. 22, 2019). As fontes renováveis de energia são repostas imediatamente pela natureza; é o caso das fontes hidráulicas (quedas d’água), eólicas (ventos), a energia das marés e das ondas, a radiação solar e o calor do núcleo da Terra (geotérmica) (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

O uso de fontes renováveis de energia não é novidade. Os primeiros usos dessas fontes datam de séculos atrás, um exemplo é a utilização de moinhos de vento. Atualmente, as melhorias tecnológicas otimizaram o uso das fontes renováveis em função da crescente demanda por alternativas energéticas e, principalmente, sustentáveis (DUPONT et al., 2015).

Algumas fontes renováveis apresentam variação na geração de energia elétrica ao longo do dia ou do ano, são fontes sazonais e, normalmente, complementares. Exemplo de fontes renováveis que variam: energia eólica que reduz ou cessa a geração quando não há ventos; energia solar não gera energia à noite, momento em que não há irradiação solar; energia hídrica que apresenta variação em períodos de estiagens (secas) (EPE, 2021a).

As fontes renováveis que não apresentam comportamento sazonal são: a. biomassa, proveniente de matéria vegetal e orgânica tais como: lenha, bagaço de cana-de-açúcar, cavaco de madeira, resíduos agrícolas, algas, restos de alimentos e excremento animal que ao se decomporem produzem gases que geram energia; b. energia geotérmica ou energia geotermal obtida do calor presente no interior da Terra; c. energia oceânica gerada a partir dos oceanos, aproveitando o movimento das águas. A energia pode vir das ondas, das marés e das correntes marinhas. O aproveitamento dessa fonte ainda está em desenvolvimento, havendo poucas usinas em operação no mundo (EPE, 2021a).

Na Fig. 7 estão representadas as fontes de energia renováveis ofertadas no Brasil, representando 48,4% da oferta.

Figura 7 – Oferta interna de energia renovável



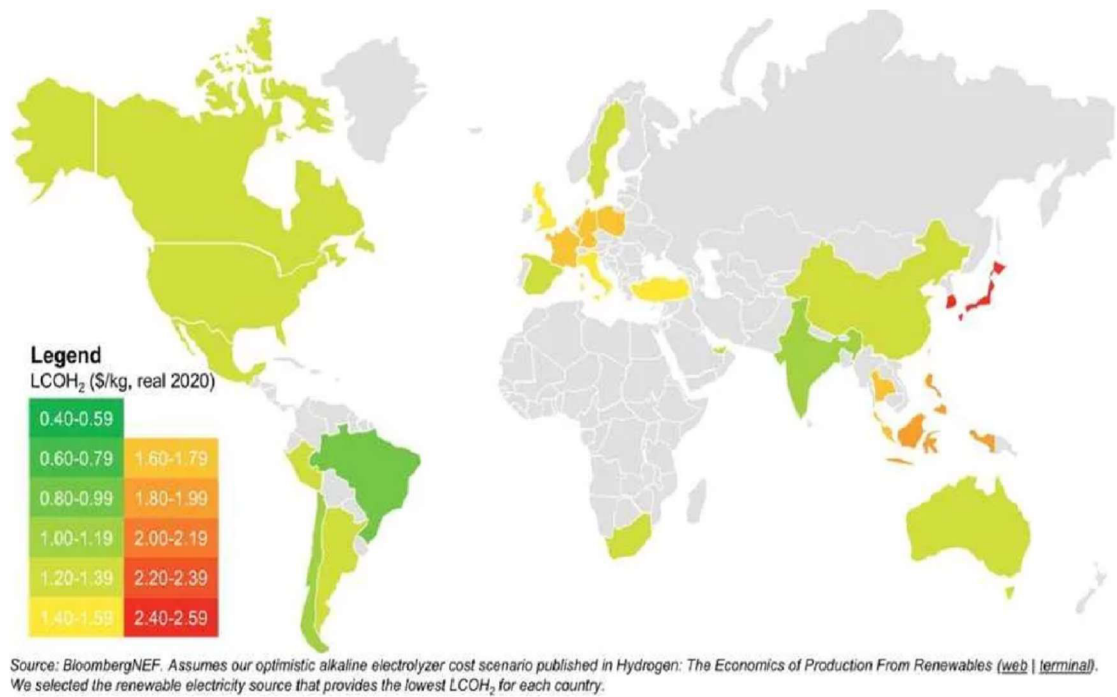
¹ Inclui importação de eletricidade oriunda de fonte hidráulica

Fonte: BEN 2021, Relatório Síntese, ano base 2020.

As fontes renováveis poluem pouco ou não agridem o meio ambiente, portanto são consideradas energias limpas; são fontes fornecidas pela natureza e sua utilização não contribui para a emissão de gases ou outros materiais tóxicos e nocivos para o ambiente natural (BIZAWU; AGUIAR, 2016).

Observa-se, entretanto, que com o aumento do aquecimento global o foco das pesquisas para a produção de hidrogênio, com o objetivo de gerar energia a partir de fontes renováveis, tem crescido intensificando a discussão mundial sobre a temática. Em estudo desenvolvido pela Bloomberg em 2020 o Brasil é considerado um dos países com menor custo de produção de hidrogênio utilizando fontes renováveis, Fig. 8. Pela importância do assunto e, principalmente pelo hidrogênio estar despontando como uma fonte importante na matriz energética do país, no próximo subitem são apresentadas as principais características desta fonte de energia.

Fig. 8 – Países com baixo custo de produção de hidrogênio



Fonte: Federação das Indústrias do Estado do Ceará (FIEC), 2021.

2.3.3 Hidrogênio

O hidrogênio é uma forma secundária de energia podendo gerar energia. Um dos processos de produção de hidrogênio é denominado eletrólise, e no caso específico por eletrólise de água alcalina ($\text{pH} > 7,5$), aproveitando o excesso de energia renovável (como sol, vento e ondas), com a vantagem de baixo custo e estabilidade da operação (NADALETI; LOURENÇO; AMÉRICO, 2021). Pode-se produzir hidrogênio a partir de diversos processos e com diferentes fontes de matéria-prima e de energia. Os combustíveis fósseis gás natural e carvão mineral são as fontes mais utilizadas nesta produção.

O hidrogênio é classificado por cores que indicam a fonte e o processo como foi produzido conforme as seguintes definições: (i) Hidrogênio renovável: produzido com emissão zero de carbono a partir de fontes de energia renováveis tais como eólica, solar ou hídrica e, também, a partir da biomassa. O hidrogênio renovável é classificado como hidrogênio “verde”. Embora a fonte não seja definida como renovável, o hidrogênio pode ser produzido sem emissões de carbono através de fonte de energia nuclear; (ii) Hidrogênio de baixo carbono: produzido a partir de combustível fóssil com captura e armazenamento de carbono (CCS), conhecido por hidrogênio "azul"; (iii) Hidrogênio fóssil: produzido a partir de combustíveis

fósseis como carvão, petróleo, gás natural ou linhita com liberação de dióxido de carbono e outros gases residuais para a atmosfera, classificado como hidrogênio “marrom”, “preto” ou “cinza”. Quando o hidrogênio é produzido com combustíveis fósseis usando uma técnica conhecida por pirólise do metano, que produz resíduo de carbono sólido como subproduto, é chamado de hidrogênio “turquesa” (*Global Gas Report, 2020*).

O hidrogênio verde pode ser produzido em quase todos os locais, podendo ser gerado em locais remotos, transportado e enviado de regiões ricas em energia para regiões pobres em energia, além de ser armazenado em grandes quantidades atuando como uma reserva estratégica (*Global Gas Report, 2020*).

Em virtude das fontes utilizadas para geração de energia, em especial as de geração de energia elétrica, serem reguladas através de leis denominadas marcos regulatórios, no item a seguir são abordados os principais marcos que regulam o setor elétrico brasileiro.

2.4 Marcos regulatórios

O marco regulatório é definido como um conjunto de normas, leis e diretrizes que regulam o funcionamento dos setores nos quais agentes privados prestam serviços de utilidade pública. Os marcos estabelecem as regras para o funcionamento do setor, contemplando a fiscalização do cumprimento das normas através de auditorias técnicas e estabelecem os indicadores de qualidade. A criação de um marco regulatório é fundamental para estimular a confiança de investidores e consumidores e para o bom andamento do setor (IPEA, 2006).

O setor de energia é classificado com base nos marcos regulatórios, entretanto, no início a utilização da energia elétrica no Brasil estava limitada a alguns serviços públicos e à atividade fabril não havendo, ainda, regulação específica para o setor. Existiam apenas algumas empresas de energia elétrica que faziam a prestação de serviços públicos e empresas de energia para fins fabris, que eram locais e independentes (GOMES; VIEIRA, 2009). Antes da década de 1930, as decisões de produção e expansão da capacidade instalada de eletricidade eram comandadas pelo mercado. O Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) era comandado por empresas privadas e estrangeiras capazes de tomarem decisões em função do grau de rentabilidade que esse setor poderia lhe assegurar (MACEDO, 2016).

Observa-se, portanto, que a atividade de planejamento não era prioritária no setor elétrico. O planejamento foi uma atividade construída que sofreu várias mudanças ao longo de sua existência e nasceu da permanente defasagem existente entre a demanda, crescente e

diversificada, e a oferta de eletricidade insuficiente. O planejamento provocou, também, as reformas setoriais (MERCEDES; RICO; POZZO, 2015).

No Quadro 2 estão demonstradas as fases que estruturaram o SEB. O principal aspecto a ser destacado na evolução do sistema elétrico está relacionado a propriedade de ativos. Inicialmente o desenvolvimento do sistema elétrico contou com a participação da iniciativa privada, posteriormente migrou para o controle do governo federal e estadual e, finalmente, retornou para a iniciativa privada, agora de forma híbrida, com participação de capital privado, nacional e estrangeiro, bem como estatal. O SEB retrata, portanto, o movimento de estatização dos serviços de transmissão, geração e distribuição de energia que se deu na época da ditadura militar.

Quadro 2 – Fases de estruturação do SEB

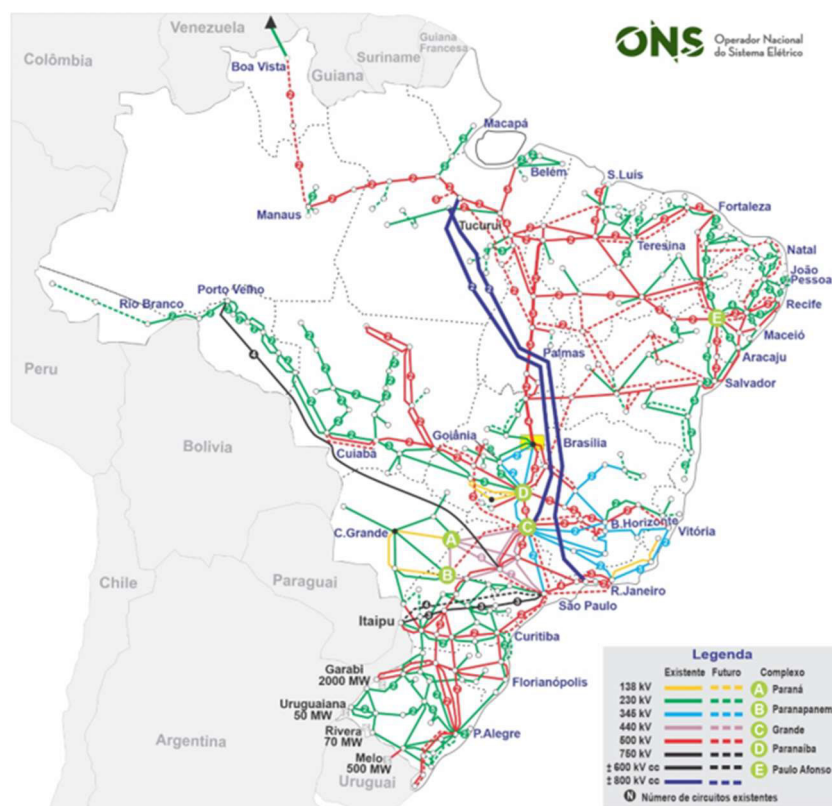
Período	1800	1930	1960	1990	2003
Propriedade de ativos	Privada	Privada	Estatal	Privada	Semiprivada
Principal objetivo	Implantação e consolidação	Institucionalização	Crescimento	Introdução de competição	Universalização de acesso
Contexto político	República Velha	Estado Novo	Autoritarismo	Democracia	Democracia
Economia	Agro exportadora	Industrialização (substituição de importações)	Grandes companhias	Desestatização e neoliberalismo	Desenvolvimentismo
Financiamento do setor	Capital agrário	Empréstimos externos e autofinanciamento	Financiamento público e tarifas	<i>Project-finance</i>	Vários modelos
Processo de regulação tarifária	Contratos bilaterais	Cláusula Ouro	Custo do serviço	Preço-teto incentivado	Preço-teto incentivado
Maior demanda	Iluminação pública e transporte	Urbanização e industrialização	Indústria e urbanização	Diversificação da matriz energética	Indústria, transporte
Tecnologias e fontes primárias de maior destaque	Pequenas usinas	Distribuição	Transmissão interligada, geração de grande escala	Desverticalização G/T/D/C, diversificação, combustíveis fósseis (gás natural)	Fontes renováveis (eólica, solar fotovoltaica, biomassa)

Fonte: MERCEDES; RICO; POZZO (2015).

A histórica concentração da geração de energia elétrica por fonte hidráulica, que depende fortemente das variações climáticas, despertou a necessidade de implantação de um sistema interligado de transmissão com despacho operacional centralizado das usinas geradoras de energia provocando o surgimento do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS e do

Sistema Interligado Nacional – SIN, Fig. 9. Outro grande desafio do Brasil, no que tange ao fornecimento de energia elétrica, está ligado a extensão continental do país, por este motivo o SIN é composto por quatro subsistemas denominados: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte, este último abrangendo parte da região. A configuração do SIN resultou na desverticalização da indústria de energia elétrica, principal diretriz da reforma e compartimentação do setor de energia elétrica em quatro segmentos empresariais: geração, transmissão, distribuição e comercialização (CHAVES, 2017).

Fig. 9 – Sistema Interligado Nacional - SIN



Fonte: ONS (2021).

O SIN, sistema único no mundo, foi estruturado, portanto, pela dimensão continental do país além da Matriz Elétrica Brasileira (MEB) ter composição fortemente hídrica. A dependência das hidrelétricas provocou a necessidade de compensar, via sistema, os períodos de estiagem das regiões mais secas, assegurando o fornecimento de energia elétrica. Chaves (2017, p. 47), afirma que (grifo nosso):

Esta interligação, coordenada pelo ONS, possibilita o fluxo de energia elétrica entre as regiões do país, **permitindo o equilíbrio inter-regional entre a produção e o consumo**, em especial, devido à sazonalidade derivada das condições climáticas que enfrentam as bacias hidrográficas brasileiras, fatores que provocam excedentes ou escassez de produção hidrelétrica em determinadas regiões e períodos do ano.

O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA, criado em 2002, um marco regulatório importante, foi instituído com o objetivo de aumentar a participação de energia elétrica no SIN produzido por projetos de Produtores Independentes Autônomos de energia, concebidos com base em energia eólica, pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e biomassa (GWEC, 2012).

Em fevereiro de 2019 um novo marco regulatório do Setor Elétrico iniciou a tramitação no Senado. O projeto dispõe sobre o modelo comercial do setor elétrico, a portabilidade da conta de luz e as concessões de geração de energia elétrica (CLP, 2021).

Na próxima seção estão apresentados os estudos empíricos anteriores, classificados como relevantes, que fundamentarão este trabalho.

2.5 Estudos empíricos anteriores sobre a MEB

A busca dos estudos empíricos anteriores sobre a temática estudada se deu no portal de periódicos CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior nas bases *Web of Science*, *Scopus* e *Directory of Open Access Journals* (DOAJ), nos últimos 20 anos, tendo como objetivo principal fornecer subsídios teóricos ou metodológicos que influenciam o desenvolvimento de hipóteses e as escolhas metodológicas (AQUINO; PAGLIARUSSI; BITTI, 2008). O critério adotado para a escolha de oito artigos foi relevância uma vez que os estudos abordam, sob algum aspecto, a característica, a história ou a evolução da matriz elétrica no Brasil. Foram selecionadas, também, duas dissertações de mestrado e uma tese de doutorado identificadas através das leituras dos artigos.

No Quadro 3 apresenta-se a lista, em ordem cronológica crescente, dos estudos que trazem contribuição para esta pesquisa.

Quadro 3 – Estudos empíricos anteriores sobre a MEB

Autor (es)	Ano	Objetivo	Metodologia	Resultados
Maurício T. Tolmasquim; Amílcar Guerreiro; Ricardo Gorini	2007	Apresentar uma prospectiva do setor energético brasileiro para o período 2005-30.	Análise documental com levantamento de dados históricos e dados de mercado.	Análise indica a necessidade de desenvolvimento de estudos e planejamento contínuo do setor.
Fabrizio Luiz Bronzatti; Alfredo Iarozinski Neto	2008	Projetar a capacidade de produção e a demanda para cada matriz energética.	Levantamento feito através de balanço energético simplificado para identificação das fontes de energia.	A energia proveniente do petróleo e de usinas hidrelétricas com desenvolvimento a curto-prazo e necessidade de investimentos. O gás natural tende a aumentar sua participação. A energia eólica e solar devem aumentar a participação na matriz energética brasileira.
Joaquim Francisco de Carvalho	2009	Definir a sustentabilidade baseada na segunda lei da termodinâmica, desatrelando crescimento econômico do uso de recursos naturais.	Aplicação do princípio da precaução para o planejamento energético.	A tese demonstra que o Brasil tem condições de se tornar independente de fontes não renováveis.
Lucas Lyrio de Oliveira	2017	Definir a participação de cada fonte de geração de energia elétrica, em cada região do País, para que a demanda prevista pela EPE seja atendida.	Teoria moderna de portfólios.	Resultados foram comparados com os da matriz projetada pelo Plano Decenal de Expansão de Energia 2024.
Ana Thereza Carvalho Costa	2017	Analisar se os leilões de energia estão levando a construção de uma matriz estratégica, conforme o planejamento do setor.	Consolidação de todos os resultados de leilões de energia nova ocorridos entre 2005 e 2016, bem como os acréscimos programados pelo Plano Decenal de Expansão de Energia no mesmo período.	Evidenciou-se a correlação direta entre os leilões e o futuro da matriz elétrica brasileira, sendo esse um mecanismo fundamental para sua expansão.
Danielle Rodrigues Raimundo; Ivan Felipe Silva dos Santos; Geraldo Lúcio Tiago Filho; Regina Mambeli Barros	2018	Estimar as emissões de CO2 evitadas em decorrência do crescimento dos parques eólicos no Brasil no período compreendido entre 2001 e 2016 e do crescimento projetado até 2030.	Foram realizados cálculos das emissões de CO2 evitadas em três cenários considerando variações na matriz elétrica ao longo dos anos e o fator de capacidade médio de geração eólica no país.	As emissões evitadas projetadas no período de 2017 a 2030 foram muito maiores do que as emissões evitadas históricas no período de 2001 a 2017. Credita-se ao fato de que a energia eólica no Brasil só começou a se tornar significativo em 2011.

Autor (es)	Ano	Objetivo	Metodologia	Resultados
Fabiano Baldez da Costa Brito; Jairo Lúcio Gomes Siqueira; Mariana Bacelar Turra; Marcos Antônio Cruz Moreira; Flavia Ribeiro Villela	2019	Analisar a evolução da participação das fontes de energia eólica e fotovoltaica (EFV) na matriz brasileira de geração de energia elétrica no período de 2013 a 2017.	Os dados utilizados foram levantados da ANEEL utilizando os métodos de Estatística Descritiva tanto gráficos quanto de resumos numéricos, assim como métodos de normalização e de correlação de Pearson.	Constatou-se o aumento da participação dessas fontes de energia na matriz energética brasileira mesmo com as limitações climáticas ocorridas em determinadas estações.
Andreas Joachim Krell; Carolina Barros de Castro e Souza	2020	Analisar os aspectos jurídicos do panorama regulatório da matriz energética brasileira diante da preocupação da comunidade internacional com o meio ambiente, com o questionamento se a matriz pode ser considerada “sustentável”.	Análise documental dos marcos regulatórios do setor que abrangem o tema sustentabilidade.	Evidenciou-se que a divergência entre a legislação e a realização de políticas públicas viola os direitos fundamentais.
Donisete da Silva Pereira; Romeu e Silva Neto	2020	Analisar a MEB.	Análise documental na ANEEL, MME, CCEE.	Confirma a exagerada dependência da matriz elétrica da fonte hídrica, principalmente hidrelétricas e a necessidade de diversificação da MEB.
Bianca Reichert; Adriano Mendonça Souza	2021	Identificar as relações existentes entre as fontes geradoras brasileiras diante de cenários adversos.	Modelo de Vetor Autorregressivo (VAR) para identificar relações positivas entre fontes de energia, variáveis econômicas e aumento da tarifa de eletricidade.	Destaca a conhecida dependência entre as fontes hidroelétricas e térmicas expondo os efeitos reversos dessa dependência, ampliando o uso de fontes não convencionais, como a biomassa e a energia eólica.
Donisete da Silva Pereira; Romeu e Silva Neto	2021	Analisar estudos de temas relacionados à diversificação de fontes geradoras da MEB.	Estudo bibliométrico.	Identificou que, apesar de ocorrer uma breve movimentação em prol dessa diversificação, há necessidade de intensificar ações que promovam menor dependência entre a MEB e o uso dos recursos hídricos, confirmando a necessidade de a MEB ser diversificada.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Os estudos empíricos selecionados indicam que no início do século XXI o Brasil demonstrava preocupação com os destinos da matriz elétrica no país e, conforme Tolmasquim, Guerreiro e Gorini (2007), as economias que melhor se posicionassem quanto ao acesso a

recursos energéticos de baixo custo e de baixo impacto ambiental iriam obter vantagens quando comparadas. Enfatizavam, ainda, que nas próximas décadas, a questão se apresentaria para o Brasil como um desafio, porque o desenvolvimento econômico e social demandaria grande quantidade de energia com alto grau de sustentabilidade energética, e como uma oportunidade, porque o Brasil dispunha de recursos energéticos renováveis e tecnologias com capacidade para transformar suas riquezas naturais em energia.

O artigo de Tolmasquim, Guerreiro e Gorini (2007) já indicava a tendência de diversificação da matriz energética brasileira ressaltando que em 1970 apenas duas fontes de energia, petróleo e lenha, respondiam por 78% do consumo no país. Já em 2000 três fontes correspondiam a 74% do consumo, petróleo, lenha e energia hidráulica, e projetavam quatro fontes para atender 77% do consumo em 2030, que seriam petróleo, energia hidráulica, cana-de-açúcar e gás natural. Destacavam uma redução da participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira que em 1970 era superior a 58% com predominância da lenha, caindo para 53% no ano 2000 e chegando a 44,5% em 2005. Entretanto visualizavam que essa tendência possivelmente reverteria a partir de 2010.

No estudo de Bronzatti e Iarozinski Neto (2008), os autores identificaram que nas regiões mais desenvolvidas do país boa parte do potencial hidráulico já havia sido aproveitado. Entretanto ressaltavam que haveria, certamente, o aproveitamento da bacia do Amazonas tentando preservar, na medida do possível, o meio ambiente. Os autores davam ênfase ao fato do Brasil possuir uma das maiores reservas de urânio no mundo, além de dominar o processo de fabricação do combustível nuclear, entretanto indicavam que a exploração era incipiente e exigia investimentos em tecnologia de enriquecimento do urânio.

Bronzatti e Iarozinski Neto (2008), concluíram que o petróleo continuaria como grande fornecedor de energia para o desenvolvimento do país pelo menos até 2020, bem como o crescimento do gás natural como recurso energético. Indicavam queda na energia hidroelétrica em 2020, chegando a 80% do potencial de geração com os 20% restante sofrendo restrições ambientais quanto ao uso da fonte. Projetavam que a deficiência seria, então, suprida por outras fontes energéticas para geração de eletricidade, como por exemplo o gás natural, a partir de 2010, com relevância na geração de energia elétrica em usinas termelétricas. Já a partir de 2020, as fontes eólicas e solar apresentariam maior maturidade e menor custo e aumentariam a participação na matriz energética.

Carvalho (2009) baseado no comportamento inercial do consumidor, ou seja, indústrias, comércio, sistemas de transporte, residências, que reluta em adaptar suas necessidades de suprimento de energia através de fontes sustentáveis reforça a exigência de contribuição por parte da administração pública, empresários, universidades e público em geral no sentido de cooperar para a transição de uma matriz poluente para uma matriz sustentável. Reforça a necessidade de políticas públicas que não visem somente lucro, baseadas unicamente em custos e não nos impactos ambientais e na produção dos GEE. As políticas baseadas nos custos acabam definindo a direção da matriz elétrica do Brasil. O autor ressalta que uma vez que o país dispõe de fontes renováveis em abundância, não espere que as condições ambientais se tornem mandatórias obrigando a transição de uma matriz insustentável para uma matriz sustentável de forma abrupta e não planejada.

Após oito anos do último estudo localizado nesta pesquisa sobre a MEB, Oliveira (2017), através da aplicação da teoria de portfólios, faz um estudo comparativo entre a matriz elétrica projetada no Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 (PDEE 2024) e o resultado identificado nas composições de fontes para a matriz elétrica via teoria de portfólios. O estudo tem foco nos custos de implantação e de operação das fontes que compõem a matriz elétrica, considerando a disponibilidade da fonte primária e a região onde a geração será instalada. O autor conclui que as hidrelétricas diminuem a participação na matriz elétrica quando há menor tolerância ao risco e maior aceitação para custo médio alto. Quanto a redução de risco a fonte que ganha participação é a eólica apesar de apresentar custo médio acima das hidrelétricas, mas com menor variabilidade.

Costa (2017), em sua pesquisa, conclui que o planejamento do setor elétrico, iniciado no período entre 1945 e 1964, é imprescindível para um país de dimensões continentais como o Brasil. Neste período implantou-se uma rotina de planejamento para o setor quando foi realizado o primeiro plano integrado de longo prazo. A autora constatou a modernização do setor, que estabeleceu um novo modelo de alta complexidade, quando foi necessário reajustar o papel de algumas entidades já existentes, como a ANEEL, e criando outras entidades para exercer novas funções exigidas pelo modelo, como a EPE. O novo modelo implementou inovações, e o principal instrumento para viabilizar a contratação de geração de energia elétrica foram os leilões. É através dos leilões que se define os projetos a serem implantados, bem como as fontes que compõem a matriz elétrica futura.

Costa (2017) identificou que existem grandes variações entre as versões do Plano de Desenvolvimento de Energia - PDE, demonstrando que não há uniformidade entre os estudos

bem como direcionamento para o setor elétrico. Constatou que, apesar dos leilões serem eficientes na contratação de eletricidade para atender a demanda projetada, não conseguem indicar as fontes que comporão a matriz elétrica.

Raimundo *et al.* (2018), demonstram o benefício que a energia eólica traz para o meio ambiente no que tange a emissão de GEE, especialmente porque o vento se tornou uma importante fonte de energia no Brasil sendo, atualmente, a segunda maior fonte da matriz energética. Os autores reforçam que o crescimento da fonte eólica é de extrema importância para a construção de uma matriz energética diversificada, limpa e renovável. Ressaltam, também, que o aumento global da temperatura aumentará a taxa de evaporação de água impactando, principalmente, a região nordeste do país que sofrerá nos períodos de seca onde as condições de vento são extremamente favoráveis, podendo ser amplamente aproveitadas com implantação de usinas eólicas onshore e offshore.

Brito *et al.* (2019) destacam que a diversificação de fontes de energia, principalmente as classificadas como renováveis, é uma tendência mundial e atendem o objetivo nº 7 da Agenda 2030. O Brasil se destaca no cenário mundial, pois nos últimos anos tem utilizado em média mais de 40% do seu consumo oriundo de fontes renováveis de energia elétrica, superior à média mundial. Reforçam que as energias eólica e fotovoltaica vem crescendo fortemente em participação na matriz energética brasileira.

Os autores avaliam se a geração total de energia elétrica, proveniente das fontes eólica e solar, atendem à demanda socioeconômica independentemente das condições climáticas, ou seja, se as variações na geração EFV (energia fotovoltaica) são dependentes somente das condições climáticas ou se são afetadas também pelas condições socioeconômicas. Concluíram que a geração de energia elétrica através das fontes eólica e solar dependem, exclusivamente, das condições climáticas aspecto que deve ser considerado para composição da matriz.

Krell e Souza (2020) abordam o assunto da diversificação da matriz elétrica brasileira sob a ótica do Direito Administrativo. Destacam que a economia se baseia na geração de energia, que por sua vez depende dos recursos naturais, sua principal fonte. Por se tratar de um bem imprescindível, o Estado se incumbiu da geração, controle e distribuição dos serviços de energia, portanto estes serviços são considerados serviços públicos.

Entretanto Krell e Souza (2020) observam que o Brasil possui uma matriz energética baseada em fontes não renováveis quando concluem que ainda não existe uma matriz energética ambientalmente sustentável. Ressaltam que a matriz elétrica do país é dominada

pelas usinas hidrelétricas e constatam a expansão dessas hidrelétricas, indicando que a geração de eletricidade no país caminha na contramão dos interesses socioambientais defendidos na legislação federal. Concluem a análise identificando que “as políticas energéticas nacionais não cumprem o dever de substituir gradualmente os combustíveis fósseis no âmbito do uso sustentável da biodiversidade”, quando desconsideram que as energias limpas são essenciais à matriz energética, portanto apresentando uma contradição entre a legislação vigente, o discurso político e as políticas públicas setoriais.

Pereira e Silva Neto (2020) observam que a MEB é composta essencialmente por hidrelétricas provocando insegurança no abastecimento elétrico e, nos períodos de estiagem, exigindo a entrada das termelétricas para complementar o fornecimento de energia. As termelétricas, além de agredir o meio ambiente, por se tratar de fonte poluente, impacta a população usuária que se submete ao regime de bandeiras tarifárias: bandeiras verde, amarela e vermelha que indicam que a energia custa mais ou menos a depender das condições de geração. Sob este enfoque defendem a diversificação da MEB privilegiando, na sua composição, fontes renováveis.

Os autores reconhecem que a geração por fonte hídrica se caracteriza por ser renovável, mas não é uma fonte limpa e nem sustentável em função da perturbação que provoca na fauna e na flora. Além disso as hidrelétricas têm alto custo de implantação, processo de construção longo e estão localizadas em regiões distantes dos centros urbanos exigindo altos investimentos na infraestrutura de transmissão. Destacam a preocupação com o país basear a estratégia de desenvolvimento em fonte única e à mercê das condições climáticas.

Reichert e Souza (2021) verificaram as relações entre as principais fontes geradoras da matriz elétrica brasileira e analisaram os efeitos dessas relações diante de cenários adversos. Destacaram a conhecida dependência entre as fontes hidrelétricas e térmicas e expuseram os efeitos reversos a essa dependência, com a necessidade de ampliação do uso de fontes como biomassa e vento. Os autores dão como alternativa para reduzir essa dependência e dar segurança ao setor elétrico, a criação de novas políticas públicas que incentivem a expansão da energia solar para que não se restrinjam a geração distribuída.

Reichert e Souza (2021) sugerem a revisão e modernização das usinas termelétricas a gás natural já existentes compensando a instabilidade da fonte renovável por meio de uma fonte térmica de baixo carbono. Reforçam que o Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS precisa considerar, a longo prazo, implementar soluções de armazenamento de energia

diminuindo a dependência térmica da matriz brasileira e mantendo a estabilidade do fornecimento de energia elétrica.

Pereira e Silva Neto (2021) observam que o Brasil com potencial de geração elétrica de diversas fontes, possui hoje uma matriz elétrica baseada predominantemente em hidroeletricidade. Considerada por muitos como uma fonte de “energia limpa”, as hidrelétricas do ponto de vista ambiental não podem ser consideradas uma solução ecológica diante disso a geração de energia elétrica por fontes renováveis vem crescendo na composição da matriz elétrica brasileira.

Os autores concluem na análise que existe a necessidade de diversificar a matriz elétrica brasileira. Portanto, há uma forte tendência de que a geração de energia elétrica no Brasil seja transformada em uma matriz energética mais diversificada, constituída principalmente por fontes de energia renováveis. A diversificação é vislumbrada como um elemento estratégico necessário para aumentar a confiabilidade do sistema de geração de energia elétrica, garantindo maior sustentabilidade, segurança e eficiência. O principal obstáculo que deverá ser superado para atingir o objetivo de diversificar a MEB será estabelecer e implantar políticas públicas que orientem o setor na direção do desenvolvimento sustentável de energia.

Baseando-se nos estudos empíricos anteriores identifica-se claramente a necessidade de diversificar a Matriz Elétrica Brasileira (MEB) baseada fortemente em hidrelétricas e compensadas pelas térmicas em períodos de estiagem. A diversificação da matriz deverá ter o objetivo de conduzir a transição energética exigida pela situação de mudança climática que o planeta enfrenta provocada pelo volume de emissão de carbono, tendo como consequência desastres climáticos naturais, comprometimento da produção agrícola e a sobrevivência das gerações futuras.

Esta pesquisa difere dos estudos anteriores quando prospecta, considerando a visão de especialistas do setor de energia no Brasil, quais os possíveis direcionamentos que poderão ser dados às políticas públicas que regulam os órgãos competentes no sentido de diversificar e promover a sustentabilidade da MEB.

Portanto, este estudo poderá contribuir levantando questões que deverão e poderão ser consideradas para a construção de uma matriz elétrica limpa e sustentável. Limpa, no sentido de evitar a emissão de Carbono, e sustentável, no sentido de garantir o fornecimento de energia, independente das condições climáticas e suas respectivas sazonalidades.

3 METODOLOGIA

Esta seção detalha os aspectos metodológicos através da apresentação da tipologia da pesquisa, da descrição do campo de estudo, dos procedimentos e técnicas de coleta e análise dos dados.

3.1 Tipologia da pesquisa

Quanto à natureza a pesquisa caracteriza-se como mista com perspectiva pragmática justificada por não estar comprometida com nenhum sistema filosófico e buscar várias abordagens para coletar e analisar os dados. Distingue-se uma pesquisa qualitativa de uma pesquisa quantitativa pelo uso de palavras para o enfoque qualitativo, e pelo uso de números para o enfoque quantitativo. O método misto tem por objetivo integrar esses dados (CRESWELL, JOHN W.; CRESWELL, J. DAVID, 2020). Em uma pesquisa científica, os tratamentos quantitativos e qualitativos dos resultados podem se complementar, enriquecendo a análise e as discussões finais (MINAYO, 1997).

Quanto aos fins, a pesquisa tem caráter descritivo. As pesquisas descritivas possuem como principal objetivo avaliar e descrever características pertinentes à questão de pesquisa (COLLIS; HUSSEY, 2005). Segundo Gil (2007), a pesquisa descritiva tem como objetivo descrever características de determinada população ou fenômeno, ou estabelecer relações entre as variáveis. Uma de suas principais características baseia-se na utilização de técnicas padronizadas de coleta de dados.

Quanto aos procedimentos, a pesquisa é definida como pesquisa de campo. As pesquisas de campo têm considerável grau de flexibilidade metodológica, não necessitando de padrões rígidos para sua elaboração, tratando com profundidade as características de um único grupo ou comunidade, além de não requerer equipamentos especiais para a coleta de dados, tornando-a mais econômica (GIL, 2007).

Os dados primários foram coletados em dois grupos. No primeiro grupo foi aplicado um *survey*, tendo como perfil dos pesquisados profissionais que atuam no setor de energia. No segundo grupo foi realizada uma entrevista com questões abertas com especialistas do setor considerados de “notório saber”. Ambos os dados foram levantados de forma virtual, o *survey* por e-mail, via *google forms*, e a entrevista pré-agendada *online* seguindo um roteiro pré-definido.

3.2 Etapas da Pesquisa

A pesquisa com os profissionais do setor elétrico do Brasil dividiu-se em duas etapas. Um *survey* compondo a abordagem quantitativa da pesquisa através de questionário estruturado e uma entrevista semiestruturada com questões abertas compondo a abordagem qualitativa da pesquisa, característica do método misto, escolha definida pela pesquisadora.

3.2.1. *Survey*

Na primeira etapa de levantamento de dados foi realizado um *survey* através de questionário estruturado com 22 afirmativas, enviado a 40 profissionais que atuam no setor de energia. O *survey* permite enunciados descritivos sobre alguma população possibilitando o registro quantitativo das respostas dos participantes não se questionando o porquê da distribuição, somente acata-se como ela é (BABBIE, 2001).

Essa etapa da pesquisa visa responder aos objetivos específicos para verificar como o setor avalia de forma macro a direção da Matriz Elétrica Brasileira.

O questionário foi formulado com base em referencial bibliográfico bem como nos objetivos específicos que norteiam a pesquisa, e elaborado através do *google forms*, com escala *Likert* de cinco pontos. Antes do envio oficial foi realizada uma etapa de pré-teste, no qual enviou-se o questionário para uma amostra de três profissionais, que atuam no setor elétrico, com a finalidade de verificar o entendimento das afirmativas e efetuar possíveis ajustes antes da aplicação definitiva. Não foi necessário fazer modificação.

O questionário foi enviado para os profissionais que atuam no setor de energia e que fazem parte da *network* da pesquisadora, portanto o acesso foi devido a pesquisadora atuar neste segmento com expectativa de obter-se o maior número possível de respondentes. Foram necessários dois envios para obter-se 18 respostas. Portanto, 11 respostas no primeiro envio, em 05.05.2023, e 7 respostas no segundo envio, em 29.05.2023.

3.2.2. *Entrevistas*

Na segunda etapa de levantamento de dados foi realizado uma entrevista semiestruturada com questões abertas composta por cinco perguntas (APÊNDICE 2), realizada com cinco especialistas considerados de “notório saber” no setor de energia.

Portanto as unidades de análise são cinco especialistas do setor de energia, considerados de “notório saber”. O roteiro das entrevistas foi desenvolvido com base no levantamento do referencial teórico e validado por dois especialistas. A seguir apresenta-se a qualificação dos especialistas que validaram o instrumento:

- Engenheiro eletricitista formado pela Universidade Federal do Ceará, Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo e PhD pela Loughborough University of Technology – Inglaterra. É Professor Titular do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará. Atuou como pesquisador em projeto de conversores multiníveis de alta potência para aerogeradores *offshore*, no Fraunhofer IEE (Instituto de Energia e Economia) em Kassel na Alemanha.

- Engenheiro eletricitista formado pela Universidade Federal do Ceará, Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará e doutorado pela Universidade Federal de Santa Catarina. É professor efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Campus Sobral e professor regular do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal do Ceará do Campus Sobral. É revisor dos periódicos: Electronics Letters, IEEE Transactions on Industrial Electronics, IEEE Transactions on Power Electronics e Revista Eletrônica de Potência (SOBRAEP). É pesquisador no programa Cientista Chefe da FUNCAP/SEINFRA na área de Energia pela FUNCAP. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Eletrônica de Potência, em Circuitos Eletrônicos, em Hidrogênio Verde (H2V) e em Energias Renováveis.

Uma das validações foi efetuada de forma *online* e as alterações sugeridas foram feitas no decorrer da validação. A segunda validação foi enviada por e-mail quando o especialista sugeriu algumas inclusões consideradas não pertinentes ao objetivo do estudo, portanto foram alterados os itens que convergiam para o objetivo da pesquisa.

3.3 Coleta de dados

A coleta de dados foi feita através de fontes primárias. Dados primários são aqueles obtidos pelo próprio pesquisador de forma direta na fonte (BLOIS *et al.*, 2017).

Portanto para a coleta de dados da pesquisa utilizou-se de um *survey*, a partir de questionário estruturado, em escala *Likert* de cinco pontos (APÊNDICE I), e enviado a 40 profissionais que atuam no setor de energia. O questionário foi elaborado no *google forms*,

contendo 22 afirmativas baseadas nos objetivos específicos e em referencial teórico. No Quadro 4, abaixo, apresenta-se a relação entre afirmativa e seu objetivo específico correspondente.

Quadro 4 – Relação entre afirmativa e objetivos específicos

AFIRMATIVA	OBJETIVO
A matriz elétrica do Brasil é caracterizada pela alta concentração de fontes não emissoras de CO ₂ ou de baixa emissão.	2, 3
Quando comparado ao mundo, o sistema elétrico brasileiro ocupa posição destaque.	2, 3, 5
A inserção de fontes térmicas menos poluentes contribuiu significativamente para consolidar o baixo perfil emissor da matriz elétrica brasileira.	1
A energia nuclear foi incorporada à matriz elétrica e permanecerá na matriz por ser de baixa emissão de CO ₂ .	2
A energia eólica ocupa pouca terra, permitindo que se continue com criação de animais ou plantações.	4
A energia eólica é a fonte de geração que tem o menor impacto ambiental.	3, 4
Parques eólicos não emitem CO ₂ em sua fase de operação.	3, 4
Combustíveis sintéticos fabricados a partir de fontes renováveis, a exemplo do hidrogênio verde, irão compor a matriz no futuro.	2, 3, 4
As fontes renováveis possuem variabilidade e/ou sazonalidade, as quais podem influenciar a confiabilidade do sistema de geração.	4
O Brasil tem uma matriz energética diversificada dispondo de fontes, tradicionais, alternativas e renováveis.	2, 3, 4
A matriz elétrica evoluiu para um perfil hidrotérmico com destaque para o gás natural.	2
O Brasil está muito bem-posicionado para se tornar um dos maiores produtores de energia limpa e renovável no mundo.	3, 5
A construção de uma matriz energética confiável passa pela garantia de ininterruptão do processo de geração e distribuição de energia.	4
A fonte solar tem muito espaço para crescer nos próximos anos, se as condições adequadas estiverem postas.	2, 3, 4
O Governo Federal e os Governos Estaduais devem desenvolver políticas públicas que contemplem medidas de apoio e incentivo às fontes renováveis.	1, 2
O Governo Federal e os Governos Estaduais devem contribuir para a diversificação da matriz elétrica, diminuindo o uso dos recursos hídricos, bem como reduzindo o uso de fontes fósseis.	1, 2
A sinergia das pequenas centrais hidrelétricas com outras fontes renováveis (eólica, biomassa e fotovoltaica) proporciona flexibilidade operativa e de armazenamento para matriz elétrica.	2, 3, 4, 5
Pequenas centrais hidrelétricas (PCHs e CGHs) podem ser a alternativa para reduzir a implantação de usinas térmicas.	3, 4
A concentração de geração eólica e solar na região nordeste força a expansão da rede básica.	1, 2, 5
Usinas hidrelétricas de pequeno porte (CGHs, PCHs e UHE) garantem mais energia firme injetada no sistema.	4, 5
PCHs/CGHs são capazes de sustentar a sazonalidade da própria demanda.	1, 3, 4

AFIRMATIVA	OBJETIVO
Descarbonizar não significa acabar com os combustíveis fósseis, mas sim, acabar com a emissão do CO2 que ele gera.	1, 4, 5

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A segunda etapa da pesquisa utilizou como instrumento de coleta uma entrevista semiestruturada, com questões abertas. As entrevistas foram feitas com cinco especialistas do setor de energia, de forma *online* previamente agendadas e gravadas com autorização dos entrevistados. Os especialistas foram selecionados com base na sua relevância para o setor elétrico bem como por facilidade de acesso. Apresenta-se na Tabela 1, abaixo, o perfil dos especialistas entrevistados.

Tabela 1 – Perfil dos entrevistados

Entrevistado	Nível escolaridade	Cargo	Tempo de experiência no setor elétrico	Data entrevista
Entrevistado 1 (E1)	Engenheiro eletricista com pós-graduação	Secretário de Estado	22 anos	19/06/2023
Entrevistado 2 (E2)	Engenheiro eletricista e mecânico	Consultor de energia e conselheiro	57 anos	06/06/2023
Entrevistado 3 (E3)	Engenheiro Civil	Empresário e conselheiro	28 anos	09/06/2023
Entrevistado 4 (E4)	Engenheiro mecânico	Presidente de Conselho	45 anos	12/06/2023
Entrevistado 5 (E5)	Doutor	Presidente de vinculada	10 anos	14/06/2023

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O roteiro da entrevista, Quadro 5, está baseado em referencial teórico, devidamente relacionado com os objetivos específicos da pesquisa e validado por dois especialistas, previamente citados, com relevância e que atuam no setor de energia.

Quadro 5 – Fundamentação roteiro de entrevista

Objetivo específico	Questão	Referencial
Analisar os marcos regulatórios para o setor	Quais as dificuldades que o Brasil enfrentará para continuar crescendo com a matriz renovável com vistas a emissão de Carbono zero, garantindo o fornecimento de energia com preços acessíveis a todos?	Papp, L. (2019); Krell, A. J.; Souza, C. B. C. (2020);

Objetivo específico	Questão	Referencial
Analisar as políticas de diversificação da matriz.	Qual o impacto que a Geração Distribuída (GD) poderá causar na MEB? Justifique sua resposta.	Elgamal, G. N. G; Demajorovic, J. (2019); Costa, A. R. et al. (2018). Fonseca, E. (2022). Lenzi, C. (2022).
Mapear as estratégias que garantem uma matriz renovável.	Considerando as fontes de geração da MEB, de que forma estas fontes causam impactos ambientais? Como estes impactos podem ser minimizados?	Lima, R. A. (2012); Lima, M. A. et al. (2020); Bizawu, K.; Aguiar, P. L. M. (2016); Pereira, M. G. et al. (2012).
Mapear as estratégias que garantem uma matriz sustentável.	A MEB é sustentável sob o ponto de vista da garantia do fornecimento de energia? Justifique sua resposta.	Dupont, F. H.; Grassi, F. e Romitti, L. (2015); Bondarik, R.; Pilatti, L. A.; Horst, D. J. (2018); Gunnarsdottir et al. (2020); Oliveira, A. (2022).
Identificar as características da matriz elétrica para o futuro.	Considerando a MEB hoje, incluindo as políticas em vigor e a estratégia de crescimento no Brasil, como elas convergem para diversificar a matriz e atender às metas de emissão de Carbono zero em 2050?	Pereira, D. S.; Silva Neto, R. (2020); Raimundo et al. (2018); Mercedes, S. S. P.; Rico, J. A. P.; Pozzo, L. Y. (2015).

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O Quadro 6 apresenta as relações entre os objetivos específicos, os instrumentos de coleta de dados e as técnicas de análise que foram adotadas.

Quadro 6 – Relação entre objetivos específicos, coleta e análise de dados

Objetivos específicos	Coleta de dados	Análise de dados
1) Identificar as características da matriz elétrica para o futuro	Entrevista semiestruturada com questões abertas (APÊNDICE 2).	Análise de conteúdo
	Questionário estruturado com escala <i>Likert</i> (APÊNDICE 1).	Estatística descritiva
2) Mapear as estratégias que garantem uma matriz renovável	Questionário estruturado com escala <i>Likert</i> (APÊNDICE 1).	Estatística descritiva
3) Mapear as estratégias que garantem uma matriz sustentável	Questionário estruturado com escala <i>Likert</i> (APÊNDICE 1).	Estatística descritiva
4) Analisar as políticas de diversificação da matriz	Questionário estruturado com escala <i>Likert</i> (APÊNDICE 1).	Estatística descritiva
	Entrevista semiestruturada com questões abertas (APÊNDICE 2).	Análise de conteúdo
5) Analisar os marcos regulatórios para o setor	Entrevista semiestruturada com questões abertas (APÊNDICE 2).	Análise de conteúdo

Objetivos específicos	Coleta de dados	Análise de dados
	Questionário estruturado com escala <i>Likert</i> (APÊNDICE 1).	Estatística descritiva

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.4 Análise de dados

A análise dos dados foi realizada através de estatística descritiva e análise de conteúdo, esta última baseada em Bardin (2016).

Os dados coletados no questionário, através do *survey*, são apresentados na análise dos resultados, tópico a seguir, a partir de estatística descritiva geradas pelo Excel com base nas respostas do *google forms*. Esta etapa faz parte do método misto e aborda os dados de caráter quantitativo com o objetivo de mapear a Matriz Elétrica Brasileira. Não são informados os nomes dos respondentes com o objetivo de atender os requisitos de confidencialidade conforme LGPD.

A análise dos dados do *survey* está baseada nos indicadores de energia para o desenvolvimento sustentável e na relação que tem com os objetivos específicos e no final apresenta-se uma análise sintetizada dos resultados. Os indicadores são guias para o planejamento das matrizes energéticas dos países em todo o mundo.

No tocante às entrevistas, parte do método misto que consiste na etapa qualitativa, utilizou-se a análise de conteúdo, que segundo Bardin (2016, p. 27), trata-se de “um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens indicadores que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção dessas mensagens”.

Consistem a análise de conteúdo as etapas de pré-análise, quando é feita a leitura cuidadosa do material. A segunda etapa é o processo de exploração do material que consiste em operações de codificação definindo as regras para análise. Finalmente, a terceira etapa compreende o tratamento dos resultados, inferência e interpretação. Cada etapa tem sua função e objetiva proporcionar uma análise mais aprofundada e o mais próximo da realidade através dos materiais analisados.

A transcrição das entrevistas foi feita logo após terem sido concluídas, procedimento que possibilitou a produção das análises pela pesquisadora. A unidade de análise

consistiu na visão de cinco especialistas, considerando como eles avaliam o futuro da Matriz Elétrica para que o Brasil consolide uma Matriz renovável, bem como sustentável sob o aspecto do fornecimento de energia.

Como a análise de conteúdo, é uma maneira de converter sistematicamente textos em variáveis numéricas, por meio de uma codificação pré-construída pelo pesquisador (COLLIS; HUSSEY, 2005), codificou-se a pesquisa com base nos objetivos específicos, de modo que cada objetivo constituiu uma categoria de análise possibilitando a qualificação e quantificação dos dados, Quadro 7.

Quadro 7 – Categorias de análise

Objetivo específico	Categoria
Analisar os marcos regulatórios para o setor	Transição energética
Analisar as políticas de diversificação da matriz	Hidrogênio Verde
Mapear as estratégias para uma matriz renovável	Compensação ambiental
Mapear as estratégias para uma matriz sustentável	Geração distribuída
Identificar as características da matriz elétrica para o futuro	Armazenamento de energia

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Finalmente, as entrevistas foram relacionadas com as respostas do questionário, objetivando compreender como o entendimento dos respondentes, a visão dos especialistas e a os indicadores de energia para o desenvolvimento sustentável convergiam.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção apresenta-se os resultados obtidos a partir da análise dos dados coletados ao longo da investigação. Inicialmente, apresenta-se a discussão em torno dos achados dos questionários em relação aos indicadores de energia para o desenvolvimento sustentável, verificando a percepção dos respondentes quanto ao atendimento destes indicadores. Em seguida apresentam-se os resultados obtidos através da análise das entrevistas norteada pelos objetivos específicos. Finalmente, apresenta-se um quadro com os objetivos específicos e as respostas provenientes de cada instrumento utilizado na pesquisa, identificando qual a convergência ou divergência entre as duas avaliações relacionadas ao futuro da Matriz Elétrica Brasileira (MEB).

4.1. A Matriz Elétrica Brasileira: visão dos respondentes

A análise dos resultados do *survey* inicia-se pelo perfil dos respondentes. Na sequência apresenta-se o resultado para cada afirmativa sobre o futuro da Matriz Elétrica Brasileira (MEB) correlacionando-a com os indicadores de energia para o desenvolvimento sustentável avaliando o grau de aderência do resultado às dimensões social, econômica e/ou ambiental dos indicadores e avaliando se atende ou não aos requisitos. Por fim, apresenta-se um quadro síntese quando os resultados são correlacionados com os objetivos específicos desta pesquisa.

4.1.1. Perfil dos respondentes

Em relação ao perfil dos respondentes a análise demonstrou que 83,3% são do sexo masculino (Fig.10); faixa etária equilibrada em 33,3% entre as idades (Fig.11); são profissionais com escolaridade elevada, ou seja, 33,3% deles com mestrado (Fig.12); 55,5% dos respondentes atuam na iniciativa privada (Fig.13); 50,1% ocupam cargo de alta direção (Fig.14); e 38,9% têm mais de 20 anos de atuação no setor elétrico brasileiro (Fig.15).

Conclui-se que os respondentes estão qualificados para avaliar a MEB com propriedade podendo-se considerar avaliação com margem de erro insignificante.

Fig. 10 – Gênero

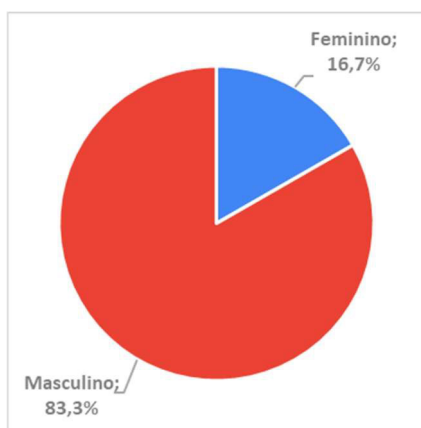


Fig. 11 – Faixa etária

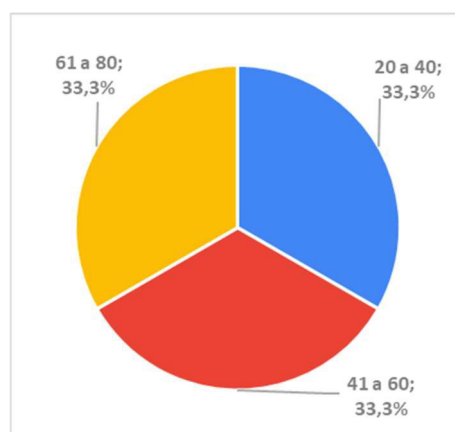


Fig. 12 – Escolaridade



Fig. 13 - Ocupação

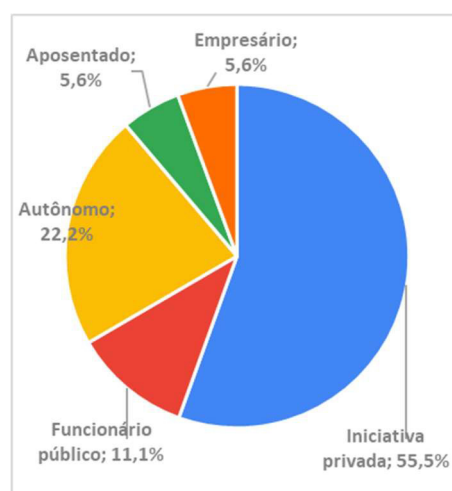


Fig. 14 – Cargo

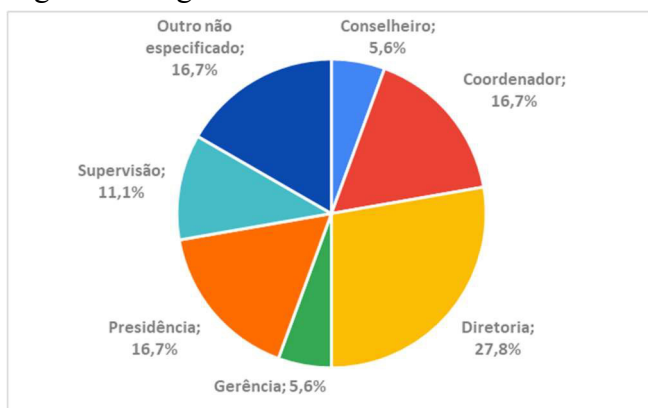
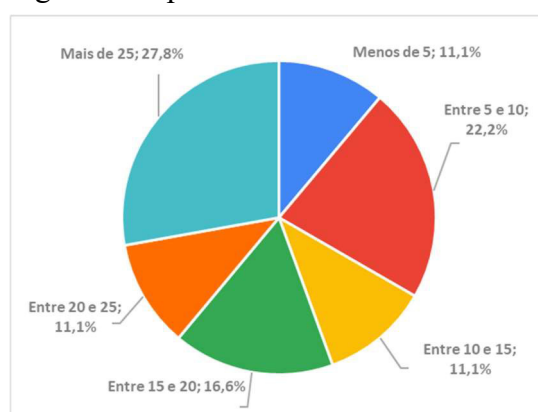


Fig. 15 – Experiência no setor



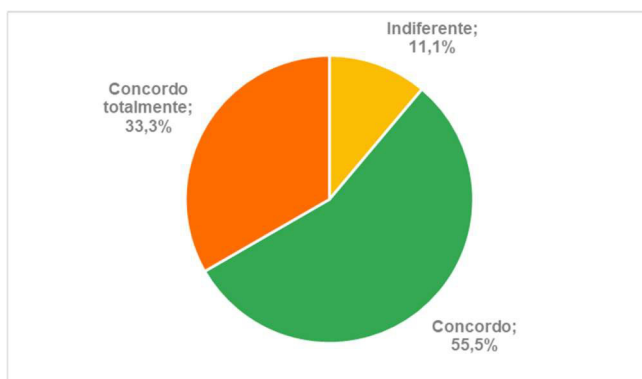
Fonte: Elaborada pela autora com base no questionário (2023).

4.1.2. Resultados evidenciados a partir do survey

Inicia-se aqui a análise das respostas a cada afirmativa da pesquisa a partir do *survey*. A partir desta análise verifica-se a qual dimensão dos indicadores, ou seja, social, econômica e/ou ambiental, de energia para o desenvolvimento sustentável a resposta atende e qual dos objetivos específicos está sendo respondido.

Quanto a afirmativa 1 – “A matriz elétrica do Brasil é caracterizada pela alta concentração de fontes não emissoras de CO₂ ou de baixa emissão”, 88,8% dos respondentes concordam ou concordam totalmente (Fig. 16) convergindo integralmente para dimensão ambiental dos indicadores.

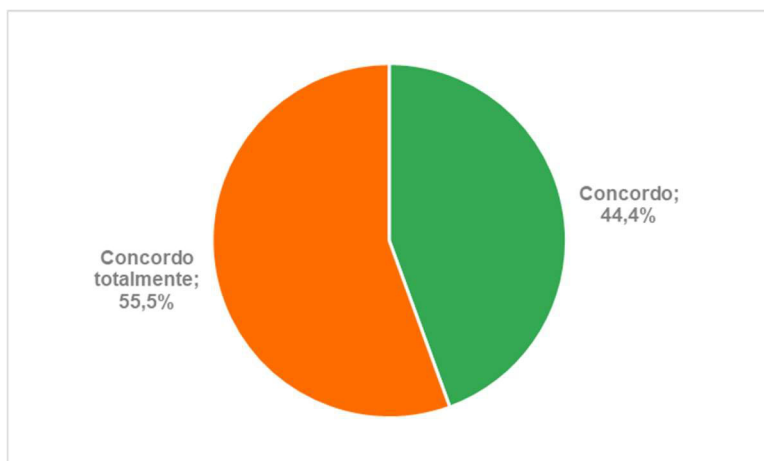
Fig. 16 - A matriz elétrica do Brasil é caracterizada pela alta concentração de fontes não emissoras de CO₂ ou de baixa emissão



Fonte: Elaborada pela autora com base no questionário (2023).

Afirmativa 2 – “Quando comparado ao mundo, o sistema elétrico brasileiro ocupa posição destaque”, observou-se concordância unanime, ou seja 100%, (Fig.17) dos respondentes indicando o atendimento das três dimensões dos indicadores.

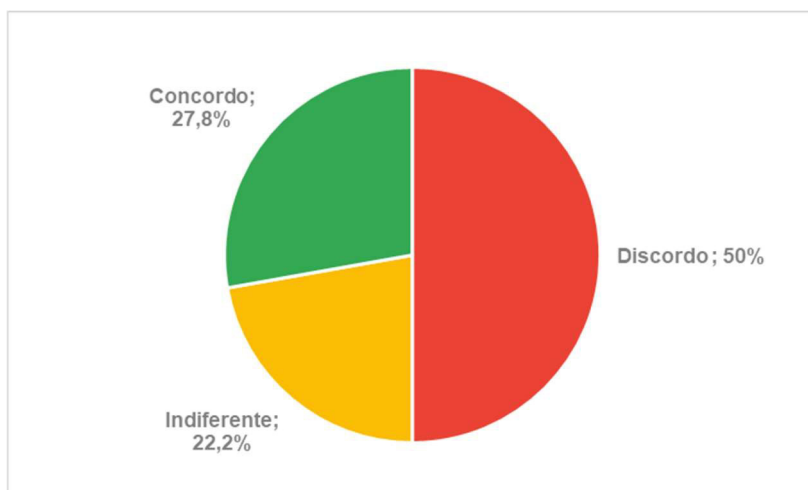
Fig. 17 – Quando comparado ao mundo, o sistema elétrico brasileiro ocupa posição destaque



Fonte: Elaborada pela autora com base no questionário (2023).

Na afirmativa 3 – “A inserção de fontes térmicas menos poluentes contribuiu significativamente para consolidar o baixo perfil emissor da matriz elétrica brasileira” obteve-se 50% de discordância (Fig. 18), entretanto o percentual de indiferente e concordância somaram os 50% restantes denotando que existe uma divisão no entendimento do setor. O resultado impacta a dimensão ambiental dos indicadores.

Fig. 18 - A inserção de fontes térmicas menos poluentes contribuiu significativamente para consolidar o baixo perfil emissor da matriz elétrica brasileira

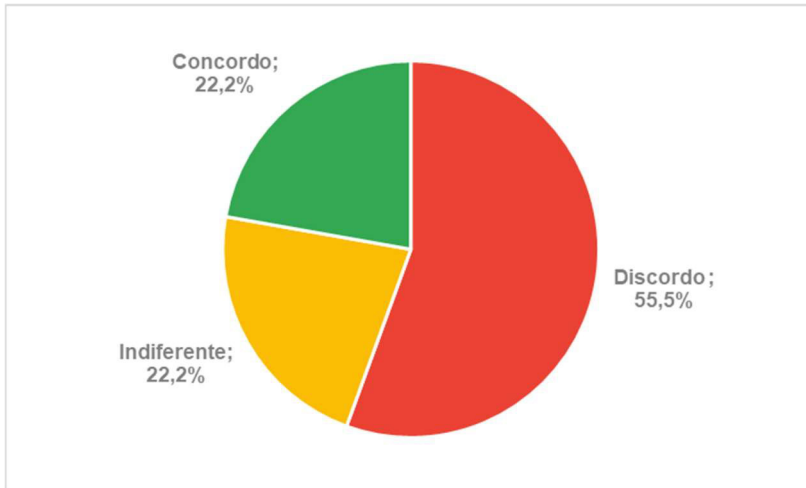


Fonte: Elaborada pela autora com base no questionário (2023).

Com relação a afirmativa 4 – “A energia nuclear foi incorporada à matriz elétrica e permanecerá na matriz por ser de baixa emissão de CO₂” tem-se um resultado equilibrado na

avaliação dos respondentes com 55,5% de discordância e 44,4% entre indiferente e concordância (Fig. 19) o que corresponde a aderência parcial à dimensão ambiental.

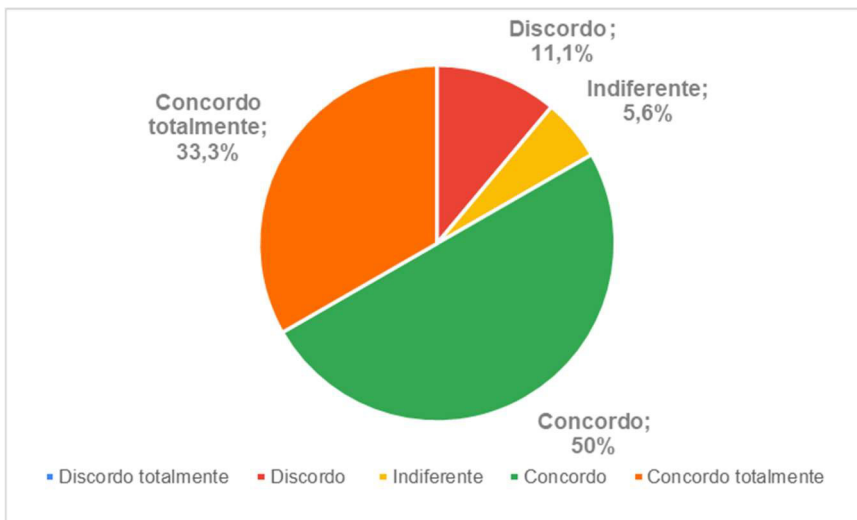
Fig. 19 - A energia nuclear foi incorporada à matriz elétrica e permanecerá na matriz por ser de baixa emissão de CO2



Fonte: Elaborada pela autora com base no questionário (2023).

Na afirmativa 5, “A energia eólica ocupa pouca terra, permitindo que se continue com criação de animais ou plantações” obteve-se 88,8% somando as opções concordo e concordo totalmente (Fig. 20). Este posicionamento atende duas dimensões dos indicadores, a dimensão econômica e a dimensão ambiental.

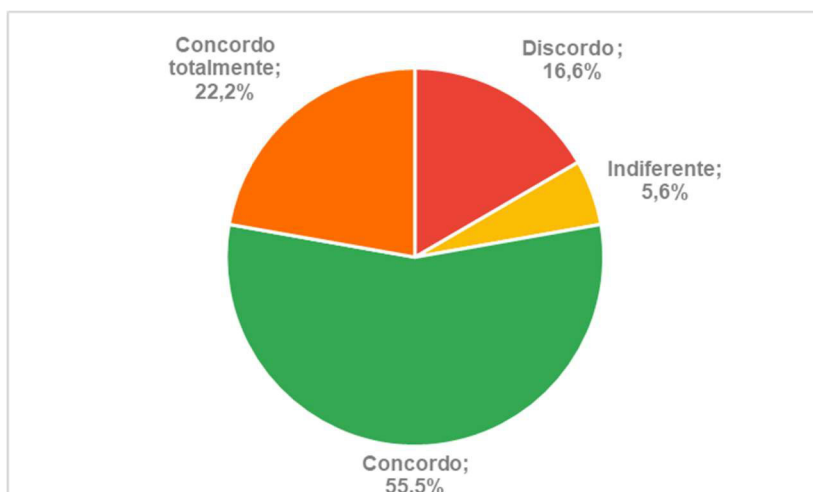
Fig. 20 - A energia eólica ocupa pouca terra, permitindo que se continue com criação de animais ou plantações



Fonte: Elaborada pela autora com base no questionário (2023).

Na afirmativa 6 temos: “A energia eólica é a fonte de geração que tem o menor impacto ambiental” obteve-se 77,7% de concordância com aderência a dimensão ambiental (Fig. 21).

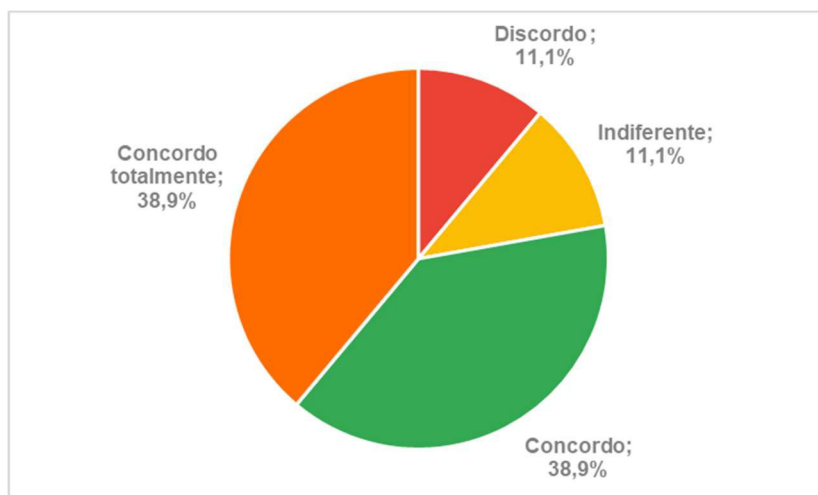
Fig. 21 - A energia eólica é a fonte de geração que tem o menor impacto ambiental



Fonte: Elaborada pela autora com base no questionário (2023).

Quanto a afirmativa 7, “Parques eólicos não emitem CO2 em sua fase de operação”, obteve-se 77,8% de respondentes que concordam ou concordam totalmente atendendo a dimensão ambiental (Fig. 22).

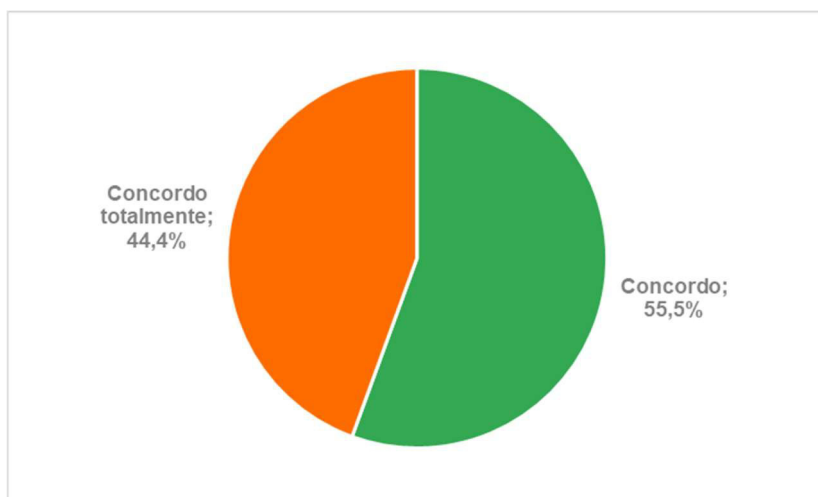
Fig. 22 - Parques eólicos não emitem CO2 em sua fase de operação



Fonte: Elaborada pela autora com base no questionário (2023).

A afirmativa 8, “Combustíveis sintéticos fabricados a partir de fontes renováveis, a exemplo do hidrogênio verde, irão compor a matriz no futuro” apresentou unanimidade, 100% dos respondentes, e adere às dimensões econômica e ambiental (Fig. 23).

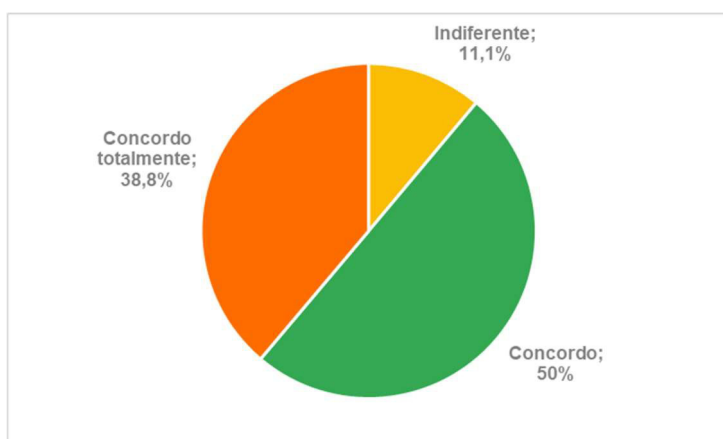
Fig. 23 - Combustíveis sintéticos fabricados a partir de fontes renováveis, a exemplo do hidrogênio verde, irão compor a matriz no futuro



Fonte: Elaborada pela autora com base no questionário (2023).

Quanto a afirmativa 9, “As fontes renováveis possuem variabilidade e/ou sazonalidade, as quais podem influenciar a confiabilidade do sistema de geração”, 88,8% concordam ou concordam totalmente (Fig. 24). Esta afirmativa adere às dimensões social e econômica.

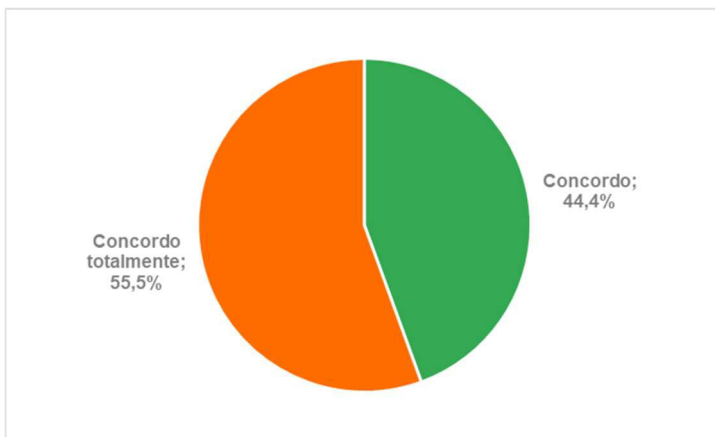
Fig. 24 - As fontes renováveis possuem variabilidade e/ou sazonalidade, as quais podem influenciar a confiabilidade do sistema de geração



Fonte: Elaborada pela autora com base no questionário (2023).

Na afirmativa 10 temos, “O Brasil tem uma matriz energética diversificada dispondo de fontes, tradicionais, alternativas e renováveis” obteve-se unanimidade, ou seja, 100% dos respondentes concordam (Fig. 25) aderindo às três dimensões dos indicadores, ou seja, social, econômico e ambiental.

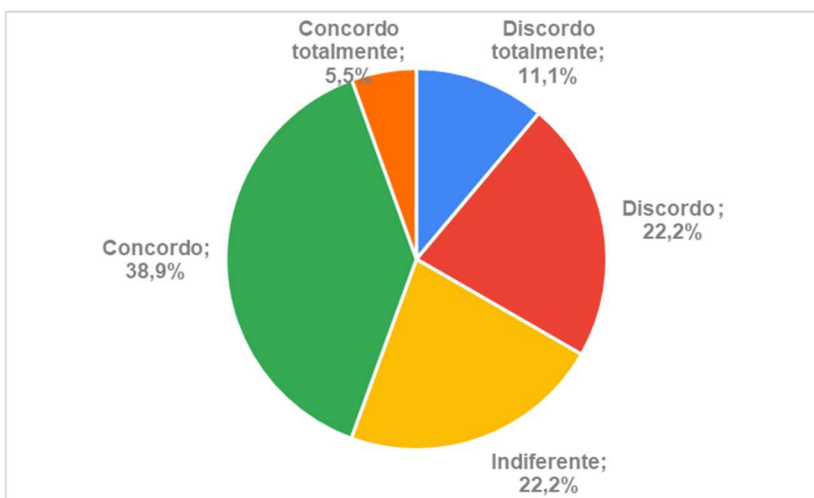
Fig. 25 - O Brasil tem uma matriz energética diversificada dispondo de fontes, tradicionais, alternativas e renováveis



Fonte: Elaborada pela autora com base no questionário (2023).

A afirmativa 11: “A matriz elétrica evoluiu para um perfil hidrotérmico com destaque para o gás natural” apresentou todas as respostas sugeridas (Fig. 26). No total tem-se 44% de concordância, 33,3% de discordância e 22,2% de indiferentes. Esta afirmativa refere-se à dimensão ambiental dos indicadores.

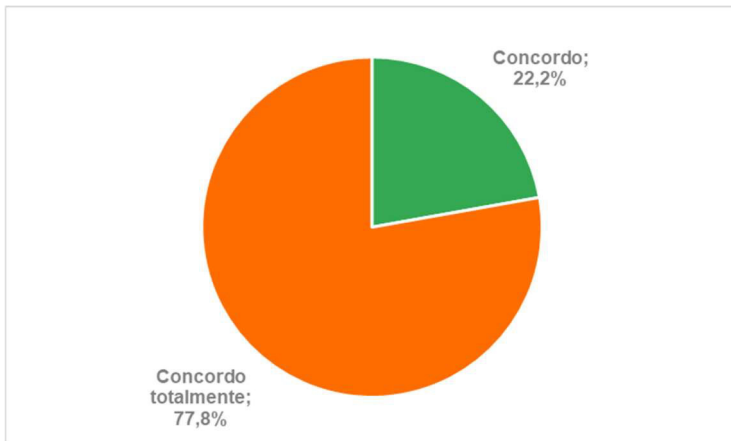
Fig. 26 - A matriz elétrica evoluiu para um perfil hidrotérmico com destaque para o gás natural



Fonte: Elaborada pela autora com base no questionário (2023).

Na afirmativa 12, “O Brasil está muito bem-posicionado para se tornar um dos maiores produtores de energia limpa e renovável no mundo” obteve-se 100% de concordância, portanto unanimidade e corresponde à dimensão econômica do indicador (Fig. 27).

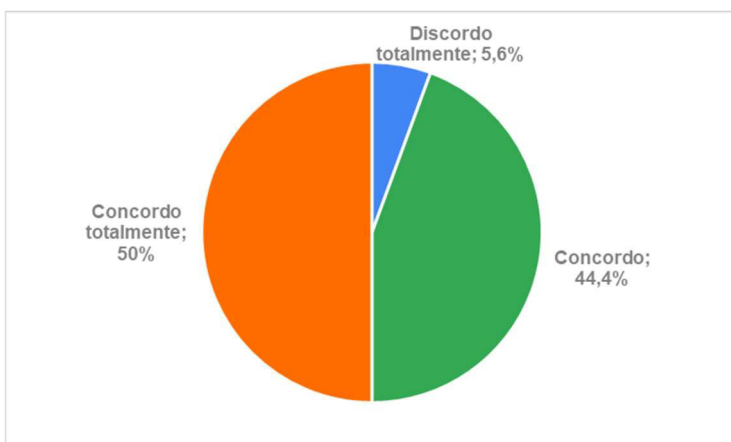
Fig. 27 - O Brasil está muito bem-posicionado para se tornar um dos maiores produtores de energia limpa e renovável no mundo



Fonte: Elaborada pela autora com base no questionário (2023).

A afirmativa 13, “A construção de uma matriz energética confiável passa pela garantia de ininterrupção do processo de geração e distribuição de energia” apresentou um fato curioso no seu resultado (Fig. 28), um respondente discorda totalmente divergindo da concordância, em 94,4%, dos demais. Resultado adere à dimensão econômica.

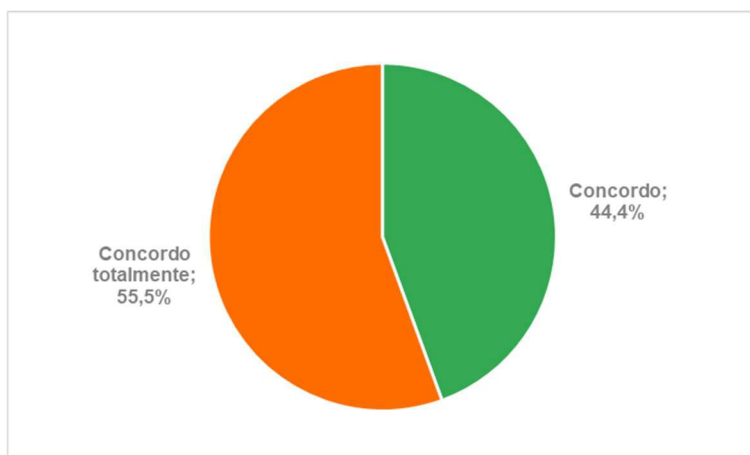
Fig. 28 - A construção de uma matriz energética confiável passa pela garantia de ininterrupção do processo de geração e distribuição de energia



Fonte: Elaborada pela autora com base no questionário (2023).

Afirmativa 14, “A fonte solar tem muito espaço para crescer nos próximos anos, se as condições adequadas estiverem postas”, aderente à dimensão econômica apresentou unanimidade, 100% dos respondentes concordam (Fig. 29).

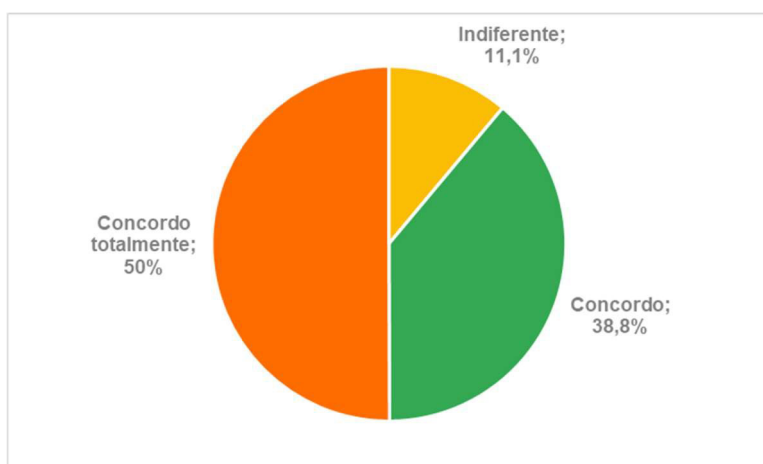
Fig. 29 - A fonte solar tem muito espaço para crescer nos próximos anos, se as condições adequadas estiverem postas



Fonte: Elaborada pela autora com base no questionário (2023).

Quanto a afirmativa 15, “O Governo Federal e os Governos Estaduais devem desenvolver políticas públicas que contemplem medidas de apoio e incentivo às fontes renováveis”, obteve-se 88,8% de concordância (Fig. 30), resposta aderente à dimensão social.

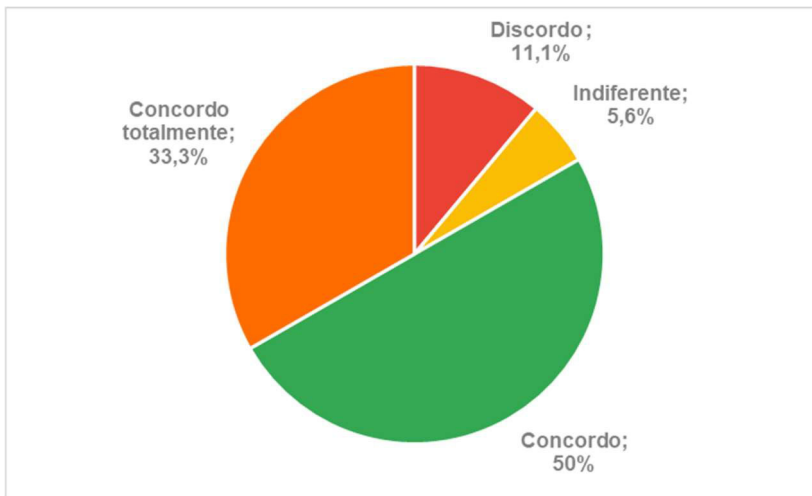
Fig. 30 - O Governo Federal e os Governos Estaduais devem desenvolver políticas públicas que contemplem medidas de apoio e incentivo às fontes renováveis



Fonte: Elaborada pela autora com base no questionário (2023).

Na afirmativa 16 temos: “O Governo Federal e os Governos Estaduais devem contribuir para a diversificação da matriz elétrica, diminuindo o uso dos recursos hídricos, bem como reduzindo o uso de fontes fósseis” obteve-se 88,8% de concordância (Fig. 31). Afirmativa aderente à dimensão ambiental.

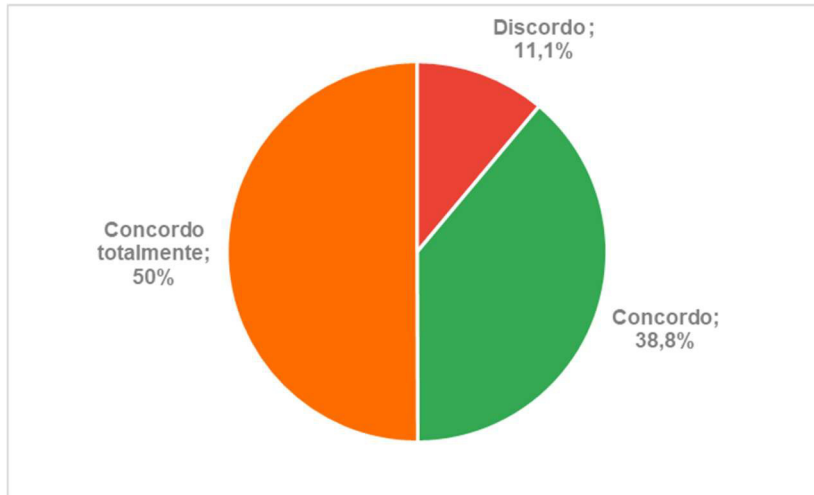
Fig. 31 - O Governo Federal e os Governos Estaduais devem contribuir para a diversificação da matriz elétrica, diminuindo o uso dos recursos hídricos, bem como reduzindo o uso de fontes fósseis



Fonte: Elaborada pela autora com base no questionário (2023).

Quanto a afirmativa 17, “A sinergia das pequenas centrais hidrelétricas com outras fontes renováveis (eólica, biomassa e fotovoltaica) proporciona flexibilidade operativa e de armazenamento para matriz elétrica” obteve-se 88,8% de concordância (Fig. 32) e aderência à dimensão econômica dos indicadores.

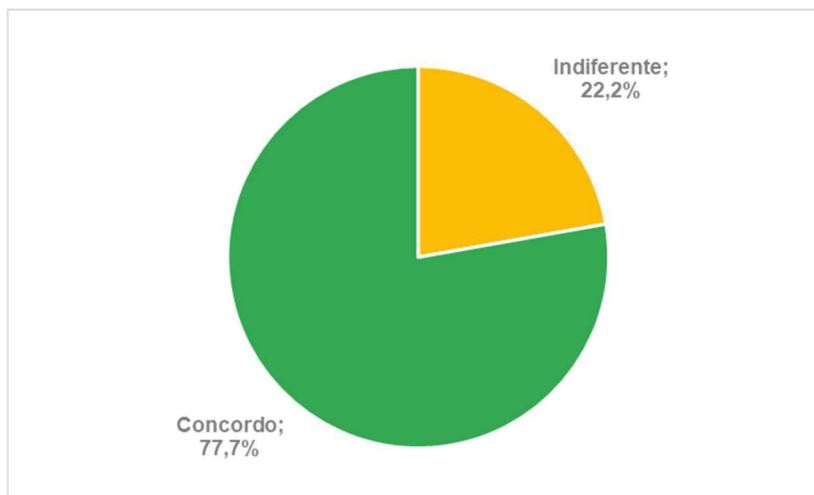
Fig. 32 - A sinergia das pequenas centrais hidrelétricas com outras fontes renováveis (eólica, biomassa e fotovoltaica) proporciona flexibilidade operativa e de armazenamento para matriz elétrica



Fonte: Elaborada pela autora com base no questionário (2023).

Para a afirmativa 18, "Pequenas centrais hidrelétricas (PCHs e CGHs) podem ser a alternativa para reduzir a implantação de usinas térmicas" o resultado foi de 77,7% de concordância (Fig. 33) com aderência às dimensões social e econômica.

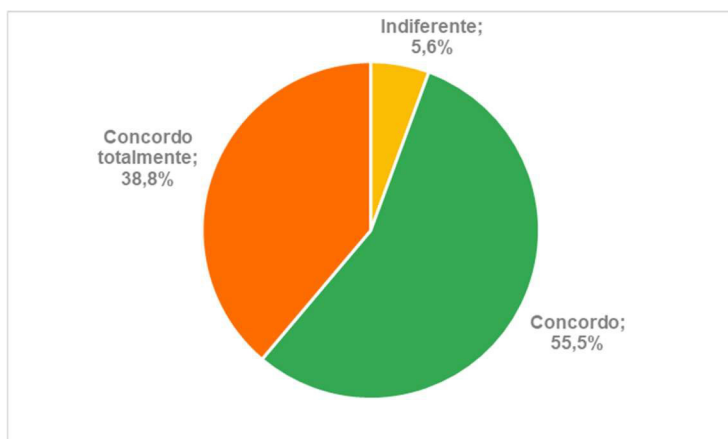
Fig. 33 - Pequenas centrais hidrelétricas (PCHs e CGHs) podem ser a alternativa para reduzir a implantação de usinas térmicas



Fonte: Elaborada pela autora com base no questionário (2023).

Na afirmativa 19, “A concentração de geração eólica e solar na região nordeste força a expansão da rede básica” apresenta concordância de 94,3% (Fig. 34) e adere à dimensão econômica. .

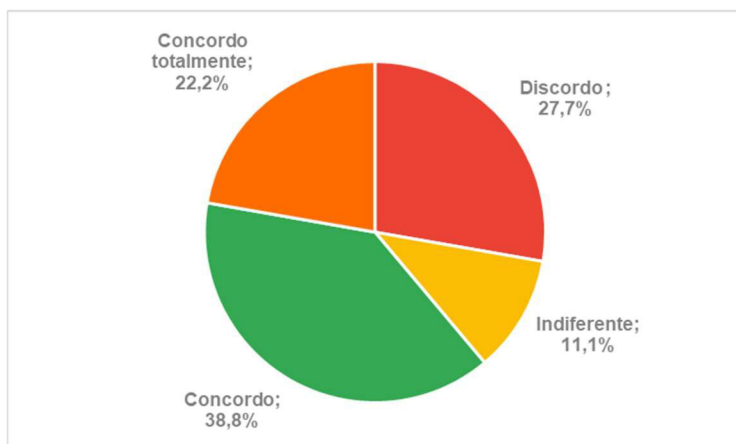
Fig. 34 - A concentração de geração eólica e solar na região nordeste força a expansão da rede básica



Fonte: Elaborada pela autora com base no questionário (2023).

Na afirmativa 20, “Usinas hidrelétricas de pequeno porte (CGHs, PCHs e UHE) garantem mais energia firme injetada no sistema” observa-se concordância de 61% e 27,7% de discordância (Fig. 35) com aderência à dimensão econômica.

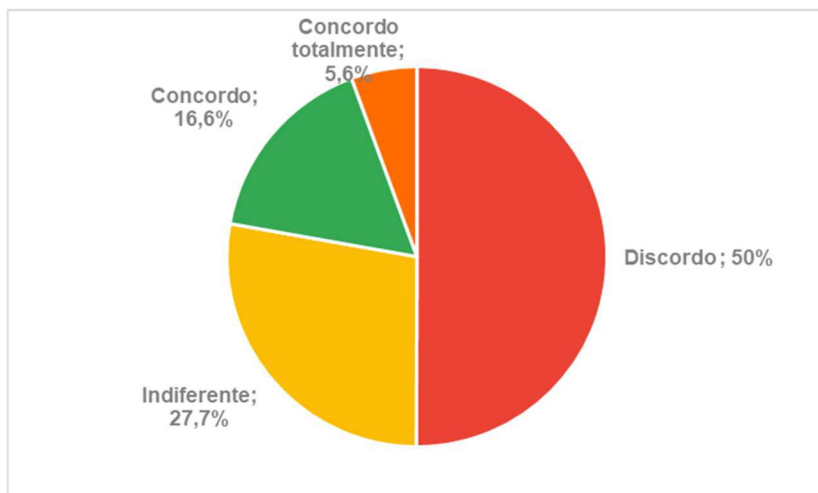
Fig. 35 - Usinas hidrelétricas de pequeno porte (CGHs, PCHs e UHE) garantem mais energia firme injetada no sistema



Fonte: Elaborada pela autora com base no questionário (2023).

Na afirmativa 21, “PCHs/CGHs são capazes de sustentar a sazonalidade da própria demanda” observa-se uma discordância de 50% (Fig. 36). Com baixa concordância, 16,6%, a afirmativa é aderente à dimensão econômica.

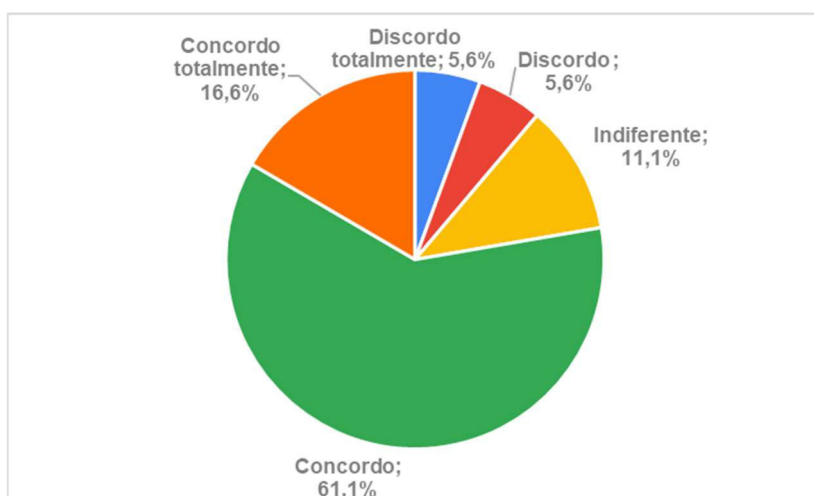
Fig. 36 - PCHs/CGHs são capazes de sustentar a sazonalidade da própria demanda



Fonte: Elaborada pela autora com base no questionário (2023).

Finalmente, na afirmativa 22: “Descarbonizar não significa acabar com os combustíveis fósseis, mas sim, acabar com a emissão do CO₂ que ele gera” obteve-se resultado pulverizado, entretanto com 77,7% de concordância (Fig. 37), aderente às dimensões econômica e ambiental.

Fig. 37 - Descarbonizar não significa acabar com os combustíveis fósseis, mas sim, acabar com a emissão do CO₂ que ele gera



Fonte: Elaborada pela autora com base no questionário (2023).

Ao que se refere ao objetivo 1, Analisar os marcos regulatórios para o setor, identificou-se uma resistência à implantação de térmicas e de pequenas centrais hidrelétricas. Esta oposição indica que o setor pode estar posicionado contra a emissão de gases de efeito estufa e de uso de água para fins de geração de energia elétrica e estabilização do fornecimento.

Quanto ao objetivo 2, Analisar as políticas de diversificação da matriz, identificou-se um ponto de divergência quanto a diversificar a matriz com fontes nuclear e hidrotérmica. Percebe-se divergência quanto a expansão da fonte hídrica ou da sua combinação com outras fontes tais como: biomassa, eólica, para dar estabilidade ao sistema. Conclui-se que as hidrelétricas não fazem mais parte da escolha do setor no sentido da diversificação da matriz.

Quanto ao objetivo 3, Mapear as estratégias para uma matriz renovável, observou-se discordância quanto ao impacto ambiental causado pela fonte eólica. Discordam, também, da combinação de fontes e utilização de pequenas centrais hidrelétricas para dar estabilidade ao sistema. O resultado indica que na avaliação do setor as fontes renováveis causam impacto ambiental. Indica também que o problema de fornecimento de energia não deverá ser resolvido com fontes hídricas.

No que se refere ao objetivo 4, Mapear as estratégias para uma matriz sustentável, observou-se uma divergência quando se refere a sustentabilidade sob a ótica ambiental, ou seja, fontes renováveis causam impacto. Sustentabilidade sob a ótica do fornecimento as respostas indicam que a matriz não é sustentável e discordam em usar hidrelétrica para estabilizar o sistema.

Finalmente, quanto ao objetivo 5, Identificar as características da matriz elétrica para o futuro, indica que o Brasil tem a matriz do futuro, renovável e com baixa emissão de carbono. Não concordam com fontes híbridas que incluam as hidrelétricas, em especial de pequeno porte. Indica, também, uma divergência quanto o aspecto de descarbonização, entretanto a maioria concorda que a emissão de carbono será reduzida, mas não chegará a zero.

Conclui-se que a MEB é renovável, causa impactos ambientais independente da fonte, não é sustentável sob o aspecto de garantia de fornecimento e não crescerá com instalação de hidrelétricas. Existe dúvida quanto a seguir com fonte nuclear, apesar de limpa e não concordam com geração híbrida quando inclui as pequenas centrais hidrelétricas.

4.2. Matriz Elétrica Brasileira: visão dos entrevistados

Os resultados foram obtidos a partir da análise da entrevista de cinco especialistas do setor de energia, considerados “notório saber” e correspondem a sequência dos objetivos específicos, de acordo com as categorias definidas pela pesquisadora.

4.2.1. *Analisar os marcos regulatórios para o setor*

O principal achado para este objetivo está relacionado com a necessidade mundial de proceder com a transição energética. Os entrevistados colocaram seus pontos de vista quanto a regulamentação do setor e deram ênfase a necessidade atual de regulação por causa do surgimento de novas fontes, como hidrogênio verde, além da necessidade de expandir a geração de energia elétrica com usinas offshore.

Para que se esclareça, usinas eólicas offshore são instaladas em alto-mar obtendo-se melhor aproveitamento da força do vento porque o vento atinge maior velocidade em regime mais constante. Isso acontece devido à inexistência de barreiras.

Portanto, nas falas tem-se a percepção de três dos entrevistados quanto a regulamentação no Brasil:

“O Brasil importa fertilizante cinza, quando poderia ser o grande produtor de fertilizante verde, fazendo com que sua agricultura, sua soja, fosse uma soja verde... No entanto, até o momento não tem uma política estabelecida no Brasil. Depende de políticas públicas que ainda não foram estabelecidas. No G20 todos os países já têm política de Hidrogênio Verde, só falta o Brasil. O Brasil, que é a “bola da vez” ainda não tem política estabelecida” (Entrevistado E2).

“Para offshore é absolutamente indispensável que exista um marco legal, por serem investimentos elevadíssimos e de longo prazo e todos querem a segurança e a estabilidade para estes investimentos.... Para isso é necessário regulamentação e política pública já que os primeiros empreendimentos dificilmente terão competitividade” (Entrevistado E2).

“Então eu acho que foi planejado sim logicamente a gente entender contextos de época é preciso se recobrar o passado e os cenários passados, normalmente, e chegar para aquele público que tinha obrigação de gerenciar as políticas de infraestrutura de energia no Brasil, que era disponibilidades da época. Se a gente voltar aí 50, 70 anos na história do Brasil, naquele momento as grandes disponibilidades elas estavam realmente na matriz hidráulica ou na produção de energia térmica ou nuclear” (Entrevistado E3).

“As políticas públicas de energia têm três vetores importantes para considerar. O primeiro é assegurar universalização de acesso. Eu tenho que produzir energia para quê? Para garantir o acesso, não só residencial, mas de outras necessidades de desenvolvimento industrial, agrícola, comercial, de serviços, etc. Então, o primeiro ponto é isso, tenho que montar uma estrutura de geração, transmissão e distribuição para suprir e garantir acessibilidade para todos. E dentro dessa ótica, o Brasil está fazendo isso” (Entrevistado E3).

“Os Estados Unidos são autossuficientes em energia de gás e está tratando uma política fortíssima para fazer geração onshore eólica, para produzir hidrogênio verde e abastecer o país; provavelmente exportar também hidrogênio verde. A Austrália é outro grande concorrente que está investindo pesadamente, o Chile visa fornecer hidrogênio verde pra Ásia, e o Brasil está entre esses cinco maiores do mundo com potencial enorme de usar tudo o que nós temos de possível na produção de energia renovável offshore mais onshore, pra transformar em hidrogênio e exportar essa energia pro mundo. Mas vai?” (Entrevistado E4).

4.2.2. Analisar as políticas de diversificação da matriz

O principal achado para este objetivo está relacionado com a produção de hidrogênio verde. O hidrogênio verde não será utilizado, em princípio para geração de energia elétrica, mas será utilizado para geração de outras fontes de energia secundárias, ou seja, será utilizado na matriz energética do país. Todos os entrevistados abordaram o assunto hidrogênio verde como alternativa a diversificação da matriz sem nenhuma exceção. Isso pode ser percebido nas falas:

“Obviamente que é como você disse, em vários momentos do dia, no nordeste brasileiro, nós temos mais geração do que consumo, mais geração renovável, nós estamos exportando energia elétrica, então nós temos um outro elemento que pode ser crucial no suprimento da energia elétrica, chamado serviços ancilares que é exatamente essa complementaridade de qualidade de serviço que é o hidrogênio” (Entrevistado E1).

“O hidrogênio é uma das opções. Agora ele vai ser produzido exclusivamente para produzir energia elétrica? Não, ele vai ser produzido para as diversas alternativas. que você precisa substituir o combustível fóssil” (Entrevistado E2).

“Então, essa regulação do processo de produção, surge, agora é a grande possibilidade, é o armazenamento da geração eólica, da geração solar, através de hidrogênio e da amônia. Agora se você disser que o Brasil está preparado ...” (Entrevistado E3).

“Austrália é outro grande concorrente que está investindo pesadamente, o Chile visa fornecer hidrogênio verde pra Ásia, e o Brasil está entre esses 5 maiores do mundo com potencial enorme de usar tudo o que nós temos de possível de produção de energia renovável offshore e onshore, pra transformar em hidrogênio e exportar essa energia para o mundo” (Entrevistado E4).

“É preciso substituir o diesel por gás natural ou biometano em frotas de veículos pesados já no curto prazo e até 2050 aproveitar as oportunidades para inserção do hidrogênio verde” (Entrevistado E5).

4.2.3. Mapear as estratégias para uma matriz renovável

Os entrevistados concordam que a MEB já é fortemente renovável. Entretanto dois deles salientaram que a constatação da matriz elétrica ter característica renovável não exime o país de pensar em compensação ambiental porque, qualquer fonte geradora, mesmo renovável, vai gerar impacto social, econômico ou ambiental. No mapeamento surge a necessidade de desenvolver tecnologias para captura de carbono. Seguem observações consideradas pela pesquisadora relevantes para este objetivo:

“É, não há a menor dúvida de que qualquer que seja a fonte de energia terão impactos ambientais” (Entrevistado E2).

“Em primeiro lugar, o Brasil, uma das qualidades do setor elétrico brasileiro, é a qualidade da nossa matriz energética. Uma matriz limpa. Há muitos anos. O Brasil fez uma opção. E preponderantemente a matriz é composta pela produção através de hidrelétricas, que é uma matriz totalmente limpa. De 20 anos para cá, começou a instrumentalizar a matriz de energias renováveis. No caso, preponderantemente eólica e solar com uma boa participação, principalmente aqui no nordeste do Brasil. : Essa questão hoje que está preponderante aí no destino de qualquer arranjo no setor de infraestrutura, todos eles têm intervenção com a questão ambiental. A questão ambiental, o mais simples, a mais simples intervenção ela tem solução. Porque tem compensações a ser feitas” (Entrevistado E3).

“É necessário substituir fontes emissoras de gases de efeito estufa como óleo diesel, óleo combustível e carvão por gás natural (que tem menores emissões entre os fósseis) e por biogás. É necessário investir em biocombustíveis e em tecnologias de captura de carbono” (Entrevistado E5).

4.2.4. Mapear as estratégias para uma matriz sustentável

O principal conceito que surgiu respondendo este objetivo foi o crescimento da geração distribuída (GD). Todos enfatizaram que para a MEB ser sustentável sob a ótica de fornecimento de energia, questão nuclear em relação a pesquisa, o Brasil terá que fazer opção por descentralizar a Matriz mesmo considerando o Sistema Interligado Nacional (SIN) uma grande vantagem para o país em função das grandes distâncias. Isto pode ser percebido nas falas a seguir:

“..... não é só a energia solar que vai ser distribuída, individualizada, no futuro nós vamos ter pequenas geradoras nucleares de pequeno porte, para alimentar todas as casas, então ninguém vai comprar energia, você produz em casa. É teórico? É teórico, mas transformações vão vir aí, sempre facilitando a vida do cidadão” (Entrevistado E4).

“..... o mercado está caminhando eu diria que naturalmente nessa direção por dois fatores, primeiro a geração distribuída, que está crescendo aí uma taxa de oito GW ao ano, é um crescimento relevante ao nível mundial; na geração centralizada devido ao mercado livre de energia, hoje já está contemplando quase 35% dos consumidores, mas pode ir além, então o mercado livre ele é impulsionado basicamente por energia eólica e a geração distribuída por energia solar” (Entrevistado E1).

“A geração distribuída tem sido sinônimo de energia solar, mas há outras fontes para GD, como o biogás. É uma boa maneira de atrair investimento, reduzir o investimento em linhas de transmissão, e acelerar a transição energética” (Entrevistado E5).

4.2.5. Identificar as características da matriz elétrica para o futuro

O principal achado para atender este objetivo foi os entrevistados pautarem a necessidade de armazenar a energia gerada pelas fontes eólica e solar, consideradas fontes variáveis opondo-se às despacháveis, fontes que geram ininterruptamente. Justificam que como a fonte solar gera durante o dia e a fonte eólica gera com melhor performance à noite há momentos em que o que é gerado é perdido porque não há consumo, ou seja, há geração, mas não existe demanda para consumo. Observa-se este direcionamento nas respostas que seguem:

“Em algumas regiões você já produz muito mais energia do que o que consome. Então, já se obriga, já é obrigado a qualquer instalação de geração distribuída, ter a sua bateria, e obrigado a ter sua bateria. Para distribuir durante o dia, pra evitar essa superprodução de energia em alguns momentos” (Entrevistado E2).

“Por exemplo, armazenar a energia produzida de excedente durante a noite na energia eólica; o excedente durante o dia com a energia fotovoltaica; e consigo armazenar energia pela energia hidráulica, é só reter a água, não solta água para gerar energia a não ser soltar os volumes necessários para a necessidade de produção e comparação com as demandas existentes” (Entrevistado E3).

“O setor elétrico brasileiro só é comparável a dois países, Canadá e Noruega. Tem muitas hidroelétricas, então a hidroelétrica é como uma bateria.... o hidrogênio já tem estudo sendo feito que é para ele ser uma bateria para o sistema elétrico em substituição a bateria convencional de lítio” (Entrevistado E1).

4.3. Relação entre respostas e objetivos

Nesta seção estão relacionadas as respostas do *survey* com as respostas dos entrevistados na avaliação da Matriz Elétrica Brasileira (Quadro 8), fazendo uma síntese dos resultados da pesquisa.

Quadro 8 – Relação entre respostas e objetivos

OBJETIVO	SURVEY	ENTREVISTAS	CONCLUSÃO
Analisar os marcos regulatórios para o setor	Discordam de geração com fontes fósseis e uso de PCH e CGH indica que a regulação do setor caminhará no sentido de baixo carbono.	Entendem que os marcos deverão ser analisados e adaptados às novas fontes geradoras de energia elétrica sem privilegiar fonte fóssil ou hídrica.	Convergem para a mesma visão, ou seja, regulação do setor sem uso de fontes fósseis e redução de uso da hídrica.
Analisar as políticas de diversificação da matriz	Discordam das fontes nuclear e térmicas. Concordam totalmente quanto ao hidrogênio verde indicando que a diversificação da matriz será com fontes renováveis.	A produção de hidrogênio verde figura como a principal fonte de diversificação da MEB.	Concordam totalmente que o futuro é o hidrogênio verde. Sugerem com pouca ênfase a fonte nuclear e concordam que as fontes fósseis deverão ser reduzidas.
Mapear as estratégias para uma matriz renovável	Consideram a matriz brasileira fortemente renovável.	Concordam que mesmo com matriz fortemente renovável o país precisa desenvolver tecnologias para captura de carbono.	Concordam totalmente que o Brasil é um país praticamente com 100% da matriz elétrica renovável.
Mapear as estratégias para uma matriz sustentável	Concordam que a matriz é sustentável sob o ponto de vista ambiental. Quanto a sustentabilidade ligada ao fornecimento, concordam que em razão da sazonalidade das fontes geradoras a matriz não garante o fornecimento.	Sugerem que o país já percebeu que o rumo será investir em geração distribuída, reduzindo a distância entre geração e consumo. Este é um caminho para garantir a sustentabilidade quanto ao fornecimento.	A pesquisa detecta a compreensão de matriz não sustentável sob a ótica de fornecimento apesar de ser uma matriz sustentável sob a ótica ambiental.
Identificar as características da matriz elétrica para o futuro	Concordam em descarbonizar e que fontes despacháveis, aquelas que não são dependentes dos aspectos sazonais, são benéficas para a matriz.	Sugerem para o futuro da matriz o armazenamento de energia das fontes denominadas variáveis, ou seja, solar e eólica, garantindo fornecimento de energia e evitando desperdício do que foi gerado e não consumido.	Como o <i>survey</i> não aborda armazenagem de energia este aspecto não foi detectado pelos respondentes, entretanto tanto os respondentes quanto os entrevistados entendem que o país necessita ter uma matriz sustentável sob a ótica de fornecimento.

Fonte: Elaborada pela autora com base nas respostas (2023).

Observou-se, quanto aos marcos regulatórios, que as regras e leis que forem definidas para a MEB deverão excluir fonte fóssil e reduzir o avanço das hidrelétricas. O foco é a transição energética. Apesar de limpa a fonte nuclear não é privilegiada e só entrevistado E3 a citou quando diz: “Eu também, apesar da crítica de muitos, sobretudo dos ambientalistas, também vejo que o Brasil tem aí uma oportunidade imensa de uma energia que hoje é limpa tecnologicamente, bastante evoluída que é a produção de energia nuclear”. O entrevistado E2 observou: “O Brasil tem tudo para ter uma matriz praticamente 100% limpa num horizonte curto, não será preciso horizonte muito longo, mas existem fatores políticos que atrapalham esse processo. Houve uma interferência política no processo de privatização da Eletrobras que obrigou a investir em novas usinas a gás, foi chamado jabuti”.

Quanto as políticas de diversificação da matriz os dois grupos discordam das térmicas, em especial a diesel. No *survey* os respondentes discordam da fonte nuclear. Nas entrevistas deixaram claro que hidrelétrica, daqui em diante, não tem sentido ou porque estão distantes dos centros de consumo ou porque a água deverá ser preservada para consumo humano e animal. Todos os entrevistados citam o hidrogênio verde como a fonte do futuro, mesmo que não seja para fins de geração de energia elétrica. O entrevistado E4 enfatizou: “hoje o potencial hidrelétrico do Brasil a ser conquistado está todo na Amazônia e é impossível, pela mudança dos conceitos mundiais de conservar a natureza, se fazer grande hidrelétrica na Amazônia”. O entrevistado E3 chamou a atenção para o seguinte ponto: “... o Brasil provavelmente vai chegar uma hora, que vai ter que fazer opção de continuar gerando energia através da água ou consumindo água para fins de sedação humana e animal, principalmente pra algumas regiões...”.

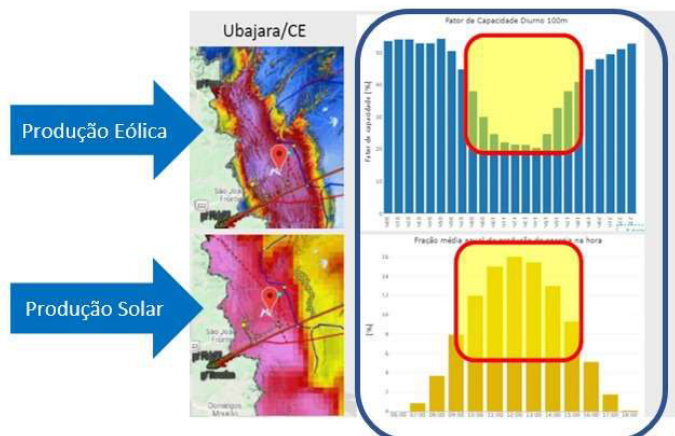
Quanto a estratégia para uma matriz renovável existe unanimidade por parte dos dois grupos pesquisados que a MEB tem um percentual altíssimo de fontes renováveis, atingindo um nível de 90% na sua composição. Entretanto, acreditam que as fontes fósseis permanecerão, mas com baixa emissão de carbono através de tecnologia para captura de carbono. O entrevistado E4 frisou: “Ahmed Zaki Yamani, que foi o primeiro presidente da OPEP, um belo dia na década de 80, disse: “A Idade da Pedra não acabou por falta de pedra, a Era do Petróleo terminará muito antes que o petróleo acabe”, e o gás vem dos mesmos poços que produzem petróleo, é uma exigência do mundo, para salvar a vida na face da terra”. Ainda sobre esta estratégia o entrevistado E3 reforçou a necessidade de compensação ambiental para os impactos que as fontes causam quando afirma: “Porque tem compensações a ser feitas. Aprendi que tudo causa impacto ambiental, agora compensar isso é um grande desafio da legislação. Para abrir uma estrada eu estou causando um problema ambiental. Não estou nem

levando em consideração as estradas que passam em área de proteção. Para construir uma casa idem. Agora com o dano que eu causo, eu compenso para gerações futuras. Esse é o grande desafio”.

Para o objetivo da estratégia para uma matriz sustentável identificou-se que os dois grupos concordam com a sustentabilidade da matriz sob a ótica ambiental, entretanto ao abordar a sustentabilidade quanto ao fornecimento, quanto a qualidade do fornecimento, os dois grupos concordam que o Brasil não é sustentável. Os entrevistados sugerem que o caminho será ampliar a geração distribuída porque pode-se gerar próximo ao centro consumidor. O entrevistado E1 falando sobre geração distribuída: “Bom, tem o primeiro aspecto muito positivo que é a redução de perdas elétricas, o consumo próximo, a redução do impacto ao meio ambiente, sistema solar fotovoltaico, redução de custo para o consumidor”. Para o grupo do *survey* obteve-se nas afirmativas que abordam o assunto sob a ótica ambiental, ou seja, afirmativas 5, 6, 7, 8, 10, 14, 18 e 22 um percentual médio de concordância de 87,5% que a matriz é sustentável ambientalmente. Para as afirmativas que abordam sustentabilidade sob a ótica do fornecimento, 9, 13, 17, 20 e 21, encontrou-se a média de 76,6% concordando que a matriz não garante qualidade no fornecimento. O entrevistado E3 observou: “Um gestor de energia tem que considerar essas 3 coisas: vou garantir acesso de energia para todos. Vou montar um sistema que garanta energia para todos. Esta garantia tem que ser de boa qualidade. E esta garantia tem que ter preço bom. Na minha ótica, no Brasil, a gente ainda tem problema de qualidade”. O entrevistado E1 reforça: “A matriz de energia elétrica do Brasil ela tem alguns problemas, o primeiro problema é como o país tem um sistema elétrico muito radial, tem perdas maiores e isso reflete em menor sustentabilidade”.

Quanto ao objetivo de identificar as características da matriz elétrica para o futuro observou-se que devem privilegiar fontes de baixo carbono, podendo ser fonte eólica, solar, biogás, hidrogênio, nuclear ou qualquer outra desde que não seja fóssil. O *survey* responde com fontes despacháveis, ou seja, que não parem de gerar, mas que não sejam as térmicas. Os entrevistados citam a necessidade de armazenar a energia excedente gerada em momentos que o consumo é baixo, para que seja despachada nas horas de alto consumo. Em especial as fontes eólica e solar, que apresentam comportamento complementar, quando o sol está “a pino” o vento tem menor velocidade (Fig. 38). À proporção que o sol vai baixando a velocidade do vento vai aumentando. Portanto, geração solar durante o dia alta, noite sem geração; geração eólica durante o dia é baixa atingindo seu auge à noite.

Fig. 38 – Complementaridade fontes eólica e solar



Fonte: FIEC – Atlas Eólico e Solar do Ceará (2023).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir desta pesquisa, foi possível concluir que a discussão sobre o futuro da Matriz Elétrica Brasileira (MEB) está acontecendo nas diversas esferas da sociedade, tais como: Governos Federal, Estadual e Municipal; no meio empresarial com forte atuação da FIEC; na academia através da UFC e IFCE, além da participação da sociedade civil representada, principalmente, pelas comunidades que são ou podem ser impactadas pelas novas fontes de geração de energia.

O futuro da MEB está fundamentado estruturalmente na transição energética que o momento mundial exige, lastreado pelo imenso potencial de geração das fontes eólica e solar no Brasil, em especial na região Nordeste do país. Em função desta necessidade existe um direcionamento no sentido de expandir a geração distribuída (GD) visando reduzir os investimentos em infraestrutura de transmissão além de garantir o fornecimento de energia a todas as regiões do país.

Para o futuro da MEB vislumbra-se ainda a capacidade de produzir e exportar hidrogênio verde, através da geração de energia por usinas eólicas *offshore*, e utilizar o vasto manancial de gás natural do pré-sal da margem equatorial através do desenvolvimento de tecnologia para captura de carbono. O Brasil desponta, com estas fontes de geração de energia, com alta probabilidade de ser um dos expoentes da economia mundial nos próximos 10 anos.

Observou-se também que existe compreensão, tanto nas respostas ao *survey* quanto nas entrevistas com os especialistas, de que a MEB apesar de praticamente 100% renovável e sustentável sob a ótica ambiental, não é sustentável sob a ótica de fornecimento, ou seja, ainda tem um longo percurso para garantir a qualidade e a disponibilidade no fornecimento de energia para a população. O fato é atribuído a duas causas consideradas principais: dimensão do país e questões políticas.

A principal sugestão oriunda dos especialistas para solucionar o efeito da baixa qualidade no fornecimento causada pela extensa dimensão do Brasil foi descentralizar a geração intensificando a GD por gerar próximo ao centro consumidor incluindo o teto das residências, indústrias e comércios, além de fazer uso da geração via consumo remoto.

Outro ponto importante que a pesquisa identificou foi a necessidade de armazenar toda a geração de energia elétrica excedente. A grande preocupação é gerar e não consumir, isto significa desperdício, principalmente em se tratando de fontes de geração que não emitem CO₂, como é o caso das fontes eólica e solar. O objetivo é não desperdiçar água e que a água seja usada para o consumo humano e animal. Se a geração de energia eólica e solar excedente

for armazenada, pode-se manter a água das hidrelétricas represadas e, portanto, não utilizadas para fins de geração de energia.

Ainda sobre o armazenamento da geração excedente evita-se despachar fontes térmicas com abastecimento a gás natural por emitirem gases de efeito estufa, mesmo em pequena escala, aproximadamente 50% menor que as termelétricas a diesel, mas ainda com emissão.

Destaca-se o desenvolvimento de tecnologias para captura de carbono, tecnologias que já estão sendo testadas em países como Alemanha, Suíça e Reino Unido entre outros.

Ressalta-se que a partir de 2021 houve um crescimento expressivo, no estado do Ceará, de estudos voltados para a produção de hidrogênio verde, ou seja, hidrogênio produzido por fontes renováveis, motivados pela necessidade de proceder a transição energética e com o objetivo principal de estabilizar o clima mundial atualmente apresentando grandes inundações, ondas de calor ou frio em regiões inusitadas, tornados, furacões, entre outras catástrofes climáticas que vem ocorrendo, em função da emissão exagerada de gases de efeito estufa, CO₂.

O movimento pró hidrogênio verde foi acelerado com o início da guerra da Rússia com a Ucrânia, em fevereiro de 2022, quando após invadir a Ucrânia a Rússia interrompeu o fornecimento de gás natural para a Europa comprometendo não só a geração de energia elétrica, mas de toda a energia destinada aos sistemas de aquecimento, abastecimento de indústrias, produtos e serviços abastecidos por gás natural.

Em função da necessidade de se produzir hidrogênio verde acelerou-se no Brasil o processo para a instalação de usinas eólicas *offshore*, que são usinas de maior porte e geram energia suficiente para o processo de eletrólise, principal etapa do processo de produção de hidrogênio. Portanto, o potencial brasileiro para eólica *offshore* é de, aproximadamente, 700 GW até 50m de profundidade, e conta com 74 projetos em licenciamento no IBAMA representando 183GW de potência. O Ceará, desse total, tem 56,6GW em tramitação no IBAMA, representando 31% do que poderá ser instalado no Brasil.

Dentre as dificuldades encontradas, destaca-se o acesso aos especialistas do setor elétrico, atualmente dedicados a definir os marcos regulatórios no que tange a legislação ambiental, a utilização da costa brasileira para implantação de usinas *offshore*, a produção de hidrogênio verde o que, pelo volume de trabalho existente para que se regule o setor, a pesquisadora julga ter sido o maior motivo da dificuldade na obtenção das respostas.

Este trabalho contribui com uma ótica diversa para o setor elétrico uma vez que discorre sobre o seu desenvolvimento e identifica o horizonte desenhado para o futuro da MEB, ressaltando a deficiência na garantia do fornecimento de energia para todas as regiões do país

e por esse motivo pode ser classificada como **não sustentável sob a ótica do atendimento à demanda**. Contribui para direcionar a academia sinalizando quais as principais formações e qualificações serão exigidas pelo futuro mercado de trabalho orientando para as novas tecnologias em estudo no âmbito mundial. Contribui, também, para orientar as empresas que fazem parte da cadeia produtiva do setor no sentido de se planejarem para aproveitar as oportunidades que o momento riquíssimo que o país vivencia.

Como limitação deste estudo aponta-se a falta de análise mais profunda dos marcos regulatórios anteriores. A análise sugerida irá auxiliar na escolha dos critérios para regulamentação dos novos marcos que se encontram em processo de elaboração para geração eólica *offshore*, para produção de hidrogênio verde e para o desenvolvimento de tecnologias para captura de carbono, indicando, de forma mais precisa, a orientação do setor.

Ressalta-se, que o assunto não se esgota com esta pesquisa, ao contrário, está longe de ser encerrado principalmente sob o olhar de gestão do setor elétrico, com o objetivo de pesquisar e sugerir alternativas de melhoria para incrementar a qualidade do fornecimento de energia a todas as regiões do Brasil, incluindo as mais remotas, abastecendo-as com preços acessíveis e atendendo aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Finalmente, acredita-se que quanto melhor for o direcionamento das próximas pesquisas maior será a contribuição dada ao setor de energia, proporcionando alternativas para o acesso das comunidades mais carentes as condições mínimas que o fornecimento de energia elétrica oferece e, quem sabe, reduzir as desigualdades sociais, problema recorrente no Brasil.

REFERÊNCIAS

- ABEEólica – Associação Brasileira de Energia Eólica e novas tecnologias. **Infovento ESG**, março 2023. Disponível em: <<https://abeeolica.org.br/energia-eolica/dados-abeeolica/>>. Acesso em: 23.abr.2023.
- AGENDA 2030. **Acompanhando o desenvolvimento sustentável até 2030**. 2018. Disponível em: <<http://www.agenda2030.org.br/acompanhe>>. Acesso em: 30.mai.2021.
- AQUINO, A. C. B.; PAGLIARUSSI, M. S.; BITTI, E. J. S. Heurística para a composição de referencial teórico. **Revista Contabilidade & Finanças**, USP, São Paulo, v. 19, n. 47, 2008.
- ARAÚJO, G. J. F.; OLIVEIRA, S. V. W. B. Análise de viabilidade econômica financeira do uso de vinhaça para geração de eletricidade no Brasil. **Cad. EBAPE.BR**, v. 18, nº 4, Rio de Janeiro, 2020.
- BABBIE, E. **Métodos de Pesquisas de Survey**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2001.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo, 3 ed: Edições 70, 2016.
- BELO, C. G. F.; SILVA, V. E. S. O panorama da evolução da energia eólica e a contribuição para a inovação no Brasil. **XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. João_Pessoa/PB, Brasil, outubro de 2016.
- BIZAWU, K.; AGUIAR, P. L. M. Energias renováveis e desenvolvimento sustentável: desafios e perspectivas para os países emergentes. **Conpedi Law Review** v. 2, n. 4, 2016.
- BLOIS, H. D.; PARIS, E; CARVALHO, M. P.; NUNES, B. B. Silvicultura: cenários prospectivos para geração de energia elétrica. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade** – GeAS, v. 6, n. 1, 2017.
- BRITO, F. B. C.; SIQUEIRA, J. L. G.; TURRA, M. B.; MOREIRA, M. A. C.; VILLELA, F. R. Participação da geração eólica e fotovoltaica na matriz energética brasileira – 2013 a 2017. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, 2019.
- BRONZATTI, F. L.; IAROSINSKI NETO, A. Matrizes energéticas no Brasil: cenário 2010-2030. **XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Rio de Janeiro, 2008.
- BRUNDTLAND, G. **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future**. World Commission on Environment and Development (WCED). New York: United Nations, 1987.
- CARVALHO, J. F. **O declínio da era do petróleo e a transição da matriz energética brasileira para um modelo sustentável**. Tese (Doutorado em Energia). Programa de Pós-Graduação em Energia – USP, São Paulo, 2009.

CENTRO DE LIDERANÇA PÚBLICA - CLP. O Brasil precisa flexibilizar sua matriz energética? Carla Martins. Disponível em: <https://www.clp.org.br/nota-tecnica-novo-marco-regulatorio-do-setor-eletrico/>. Acesso em: 30 nov. 2021.

CHAVES, R. B. S. **O trilema regulatório aplicado ao setor elétrico brasileiro:** análise sociojurídica de disfunções sistêmicas. Dissertação (Mestrado em "Direito, Estado e Constituição"). Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Direito da Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

COLLIS, J.; HUSSEY, R. **Pesquisa em Administração.** Um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação. Porto Alegre, 2ª ed.: Bookman, 2005.

CORRÊA, N. B. O.; BENITE, C. R. M. **Fontes renováveis de energia:** uma abordagem interdisciplinar no estudo de física. Curitiba, 1ª ed.: Appris, 2019.

COSTA, A. R. et al. Análise da sustentabilidade da geração de eletricidade do Ceará. **Rev. Technol. Fortaleza**, ahead of print, 2018.

COSTA, A. T. C. **Determinantes da matriz elétrica nacional: uma análise do planejamento do setor e a contratação via leilões.** Dissertação (Mestrado em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento). Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017.

CRESWELL, JOHN W.; CRESWELL, J. DAVID. **Projeto de pesquisa:** métodos qualitativo, quantitativo e misto. Porto Alegre, RS. 5ª ed.: Penso, 2021.

DUPONT, F. H.; GRASSI, F.; ROMITTI, L. Energias Renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 1, 2015.

ELGAMAL, G. N. G.; DEMAJOROVIC, J. As barreiras e perspectivas para geração de energia elétrica por painéis solares fotovoltaicos na matriz energética brasileira. **Rev. Gest. Ambient. e Sust. - GeAS**, 9(1), 1-28, 2020.

ELKINGTON, J. **Sustentabilidade, canibais com garfo e faca.** São Pulo, M. Books do Brasil Editora Ltda., 2012.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **BEN-Balanco Energético Nacional – Relatório síntese**, 2021a. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>>. Acesso em: 10.jul.2021.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **BEN-Balanco Energético Nacional – Séries históricas e matrizes**. 2021b. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completa>>. Acesso em: 09.ago.2021.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **A transição da geração no setor elétrico brasileiro.** Como evoluiu o uso das fontes térmicas para a geração de eletricidade no Brasil desde 1970? Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao->

[660/EPEFactSheetEmissoesSetorEletrico.pdf#search=matriz%20el%C3%A9trica](#) >. Acesso em: 23.abr.2023.

FARIAS, L. M.; SELMITTO, M. A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. **Revista Liberato**, v. 12, n. 17, 2011.

FONSECA, E. **Matriz elétrica diversificada: segurança energética e energia limpa**. Canal Energia. Jun.2022. Disponível em: <<https://www.canalenergia.com.br/artigos/53215087/matriz-eletrica-diversificada-seguranca-energetica-e-energia-limpa>>. Acesso em: 25.abr.23.

GIBSON, R. B. **Specification of sustainability-based environmental assessment decision criteria and implications for determining "significance" in environmental assessment**. Disponível em: <https://static.twoday.net/NE1BOKU0607/files/Gibson_Sustainability-EA.pdf>. Acesso em: 04.jul.2021.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2007.

GLOBAL GAS REPORT 2020, BloombergNEF / International Gas Union / Snam 2020. Disponível em: <https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/BNEF-IGU-Snam-2020-Global-Gas-Report_FINAL.pdf>. Acesso em: 02.01.2022.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL – GWEC. Disponível em: <https://gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/2ANALISE_DO_MARCO_REGULATORIO_PARA_GERACAO_EOLICA_NO_BRASIL.pdf>. Acesso em: 30.nov.2021.

GOLDEMBERG, J. Energia e desenvolvimento. **Estudos Avançados**, v. 12, n. 33, 1998.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Revista USP**, São Paulo, n.72, p. 6-15, 2007.

GOMES, J. P. P.; VIEIRA, M. M. F. O campo da energia elétrica no Brasil de 1880 a 2002. **RAP-Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 2, 2009.

GUÐLAUGSSON, B.; FAZELI, R.; GUNNARSDOTTIR, I.; DAVIDSDOTTIR, B.; STEFANSSON, G. Classification of stakeholders of sustainable energy development in Iceland: Utilizing a power-interest matrix and fuzzy logic theory. **Energy for Sustainable Development**, v. 57, 2020.

GUNNARSDOTTIR, I.; DAVIDSDOTTIR, B.; WORRELL, E.; SIGURGEIRSDOTTIR, S. Sustainable energy development: History of the concept and emerging themes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 141, 2021.

GUNNARSDOTTIR, I.; DAVIDSDOTTIR, B.; WORRELL, E.; SIGURGEIRSDOTTIR, S. Review of indicators for sustainable energy development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 133, 2020.

HOLDEN, E; LINNERRUD, K; BANISTER, D. Sustainable development: Our Common Future revisited. **Global Environmental Change**, v. 26, p. 130-139, 2014.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - LIBRARY CATALOGUING IN PUBLICATION DATA. **Energy indicators for sustainable development: guidelines and methodologies**. — Vienna: International Atomic Energy Agency, 2005.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Analytical Frameworks for Electricity Security**. 2021. Disponível em <<https://www.iea.org/search?q=electricity%20security%202021>>. Acesso em: 03.jul.2021.

IPEA. O que é? Marco Regulatório. **Desafios do desenvolvimento**, v.19, n.3, 2006. Disponível em: <http://desafios.ipea.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2093:catid=28&Itemid=23>. Acesso em: 24.jul.2021.

IRENA- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **International renewable energy agency**, 2021. Disponível em: <<https://www.irena.org/>>.

IRENA- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **The post-COVID recovery: An agenda for resilience, development and equality**. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2020. 128p.

JANNUZZI, A. C. **Regulação da qualidade de energia elétrica sob o foco do consumidor**. Dissertação (Mestrado em Sistemas Elétricos de Potência) – Departamento de Engenharia Elétrica da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

KRELL, A. J.; SOUZA; C. B. C. A sustentabilidade da matriz energética brasileira: o marco regulatório das energias renováveis e o princípio do desenvolvimento sustentável. **Rev. Direito Econ. Socioambiental**, v. 11, n. 2, 2020.

KRISTJANPOLLER, W. R.; SIERRA, A. C.; SCAVIA, J. D. Dynamic co-movements between energy consumption and economic growth. A panel data and wavelet perspective. **Energy Economics**, v. 72, p. 640–649, 2018.

KUHLMAN, T.; FARRINGTON, J. What is Sustainability? **Sustainability**, v. 2, p. 3436-3448, 2010.

LENZI, C. Diversidade da nossa matriz elétrica e preço da energia. **ABRAGEL** – Associação Brasileira de Geração de Energia Limpa. Disponível em: <<https://www.abragel.org.br/diversidade-da-nossa-matriz-eletrica-e-preco-da-energia/>>. Acesso em: 24.abr.23.

MP 1.031 e as PCHs: uma importante contribuição para uma matriz elétrica limpa, renovável e firme. **ABRAGEL** – Associação Brasileira de Geração de Energia Limpa. Disponível em: <<https://www.abragel.org.br/mp-1-031-e-as-pchs-uma-importante-contribuicao-para-uma-matriz-eletrica-limpa-renovavel-e-firme/>>. Acesso em: 24.abr.23.

LIMA, M. A.; MENDES, L. F. R.; MOTHÉ, G. A.; LINHARES, F. G.; CASTRO, M. P. P.; SILVA, M. G.; STHEL, M. S. Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil. **Environmental Development**, v. 33, 2020.

LIMA, R. A. A produção de energias renováveis e o desenvolvimento sustentável: uma análise no cenário da mudança do clima. **Energy Law in Brazil**, v. 5, 2012.

LOPES, M. C.; TAQUES, F. H. O desafio da energia sustentável no Brasil. **Revista Cadernos de Economia**, v. 20, n. 36, 2016.

MACEDO, L. D. Formação e estruturação do setor elétrico brasileiro: dos anos de 1930 a 1950. **Revista de Economia Regional, Urbana e do Trabalho**, v. 5, n. 2, 2016.

MARIANO, J. D'A.; SANTOS, F. R.; BRITO, G. W.; URBANETZ JUNIOR, J.; CASAGRANDE JUNIOR, E. F. Hydro, thermal and photovoltaic power plants: A comparison between electric power generation, environmental impacts and CO2 emissions in the Brazilian scenario. **International Journal of Energy and Environment - IJEE**, v. 7, n. 4, 2016.

MAY, P. H.; LUSTOSA, M. C.; VINHA, V. **Economia do meio ambiente: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

MERCEDES, S. S. P.; RICO, J. A. P; POZZO, L. Y. Uma revisão histórica do planejamento do setor elétrico brasileiro. **Revista USP**, n. 104, 2015.

MINAYO, M. C. de S. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 7. ed. Petrópolis: Vozes, 1997.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. (Brasil). **PDE – Plano Decenal de Energia 2030**. Brasília: MME/EPE, 2021. Disponível em: < https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/PDE%202030_RevisaoPosCP_rv2.pdf>. Acesso em: 26.jul.2021.

NADALETI, W. C.; LOURENÇO, V. A.; AMERICO, G. Green hydrogen-based pathways and alternatives: Towards the renewable energy transition in South America's regions - Part A. **International Journal Hydrogen Energy**, v. 46, 2021.

NEMET, A.; KLEMEŠ, J. J.; DUIC, N.; YAN, J. Improving sustainability development in energy planning and optimization. **Applied Energy**, v.184, 2016, p. 1241–1245.

NEIVA, F. A.; FRANKLIN NETO, J. H. A. **A grave situação energética**. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/artigos/53178086/a-grave-situacao-energetica> Acesso em: 01.jul.2021.

OLIVEIRA, A. **Como a Inteligência Artificial pode dar confiabilidade a uma matriz energética limpa e renovável**. INFORCHANNEL. Ago.2022. Disponível em: < <https://inforchannel.com.br/2022/08/10/como-a-inteligencia-artificial-pode-dar-confiabilidade-a-uma-matriz-energetica-limpa-e-renovavel/>>. Acesso em: 23.abr.2023.

OLIVEIRA, L. L. **Análise da matriz de geração de energia elétrica no Brasil: uma aplicação da teoria de portfólios**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Departamento de Engenharia de Produção. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2017.

PAPP, L. Regulação jurídica, meio ambiente e energia: desafios e oportunidades da geração distribuída em áreas urbanas. **Revista de Direito da Cidade**, v. 11, n. 3, 2019.

PASCON, B. Brasil precisa repensar sistema elétrico para garantir segurança energética. **Canal Energia**, 13 de maio de 2021. Disponível em: <<https://www.canalenergia.com.br/artigos/53172742/brasil-precisa-repensar-sistema-eletrico-para-garantir-seguranca-energetica>>. Acesso em: 20.jul.2021.

PEREIRA, M. G.; CAMACHO, C. F.; FREITAS, M. A. V.; DA SILVA, N. F. The renewable energy market in Brazil: Current status and potential. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, 2012.

PEREIRA, D. S.; SILVA NETO, R. & Matriz elétrica brasileira: uma análise na distribuição de geração da matriz elétrica. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, 2020.

_____ Diversificação de fontes geradoras da matriz elétrica brasileira: uma revisão sistemática. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 3, n.1, 2021.

RAIMUNDO, D. R.; DOS SANTOS, I. F. S.; TIAGO FILHO, G. L.; BARROS, R. M. Evaluation of greenhouse gas emissions avoided by wind generation in the Brazilian energetic matrix: A retroactive analysis and future potential. **Resources, Conservation & Recycling**, n. 137, p. 270–280, 2018.

REICHERT, B.; SOUZA, A. M. Interrelationship simulations among Brazilian electric matrix sources. **Electric Power Systems Research**, n.193, 2021.

SILVEIRA, P. G. Energia e mudanças climáticas: impactos socioambientais das hidrelétricas e diversificação da matriz energética brasileira. **Opinião Jurídica**, v. 17, n. 33, 2018.

STREIMIKIENE, D.; CIEGIS, R.; GRUNDEY, D. Energy indicators for sustainable development in Baltic States. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 11, p. 877–893, 2007.

SUMMER of extremes: floods, heat and fire. **World Meteorological Organization**. 16 de jul, de 2021. Disponível em: <<https://public.wmo.int/en/media/news/summer-of-extremes-floods-heat-and-fire>>. Acesso em: 20 de dez. de 2021.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos Estudos**, CEBRAP, v. 79, p. 47 – 69, 2007.

TRANSFORMANDO NOSSO MUNDO: AGENDA 2030 PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Disponível em: <<https://www.undp.org/content/dam/brazil/docs/agenda2030/undp-br-Agenda2030-completo-pt-br-2016.pdf>>. Acesso em: 17.out.2021.

UDEMBA, E. N.; TOSUN, M. Energy transition and diversification: A pathway to achieve sustainable development goals (SDGs) in Brazil. **Energy**, n. 239, 2022.

VERA, I. A.; LANGLOIS, L. M.; ROGNER, H. H.; JALAL, A. I.; TOTH, F. L. Indicators for sustainable energy development: An initiative by the International Atomic Energy Agency. **Natural Resources Forum**, v. 29, p. 274 – 283, 2005.

WALTER, O. L. **História de eletricidade**. Mogi Mirim, 2010.

WIERSUM, K.F. 200 Years of Sustainability in Forestry: Lessons from History. **Environmental Management**. New York, v. 19, n. 3, 1995.

ZHANG, P.; YANLI, Y.; JIN, S.; YONGHONG, Z.; LISHENG, W.; XINRONG, L. Opportunities and challenges for renewable energy policy in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.13, p. 439–49, 2009.

APÊNDICE 1 – QUESTIONÁRIO SOBRE A MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

I. Perfil

1. Gênero

Masculino () Feminino ()

2. Idade _____ anos.

3. Grau de escolaridade

Curso Técnico ()
 Ensino Superior Incompleto ()
 Ensino Superior Completo ()
 Especialização ou MBA ()
 Mestrado ()
 Doutorado ()
 Pós-doutorado ()

4. Ocupação

Funcionário (a) público(a)
 Autônomo(a)/Profissional Liberal
 Funcionário (a) iniciativa privada
 Aposentado (a)
 Outro. Qual? _____

5. Cargo que ocupa

Supervisão ()
 Coordenação ()
 Gerência ()
 Diretoria ()
 Presidência ()
 Conselho ()
 Outro. Qual? _____

6. Tempo de experiência no Setor de energia

Menos de 5 anos ()
 Entre 5 e 10 anos ()
 Entre 10 e 15 anos ()
 Entre 15 e 20 anos ()
 Mais de 20 anos ()

II. Questionário

Julgue as afirmativas relacionadas ao que avalia sobre o futuro da Matriz Elétrica Brasileira com um “X” na opção escolhida conforme classificação abaixo:

1- Discordo Totalmente 2- Discordo Parcialmente 3- Indiferente 4 - Concordo Parcialmente 5- Concordo Totalmente

A matriz elétrica do Brasil é caracterizada pela alta concentração de fontes não emissoras de CO ₂ ou de baixa emissão.	1	2	3	4	5
Quando comparado ao mundo, o sistema elétrico brasileiro ocupa posição destaque.	1	2	3	4	5
A inserção de fontes térmicas menos poluentes contribuiu significativamente para consolidar o baixo perfil emissor da matriz elétrica brasileira.	1	2	3	4	5
A energia nuclear foi incorporada à matriz elétrica e permanecerá na matriz por ser de baixa emissão de CO ₂ .	1	2	3	4	5
A energia eólica ocupa pouca terra, permitindo que se continue com criação de animais ou plantações.	1	2	3	4	5
A energia eólica é a fonte de geração que tem o menor impacto ambiental.	1	2	3	4	5
Parques eólicos não emitem CO ₂ em sua fase de operação.	1	2	3	4	5
Combustíveis sintéticos fabricados a partir de fontes renováveis, a exemplo do hidrogênio verde, irão compor a matriz no futuro.	1	2	3	4	5

As fontes renováveis possuem variabilidade e/ou sazonalidade, as quais podem influenciar a confiabilidade do sistema de geração.	1	2	3	4	5
O Brasil tem uma matriz energética diversificada dispondo de fontes, tradicionais, alternativas e renováveis.	1	2	3	4	5
A matriz elétrica evoluiu para um perfil hidrotérmico com destaque para o gás natural.	1	2	3	4	5
O Brasil está muito bem-posicionado para se tornar um dos maiores produtores de energia limpa e renovável no mundo.	1	2	3	4	5
A construção de uma matriz energética confiável passa pela garantia de ininterruptão do processo de geração e distribuição de energia.	1	2	3	4	5
A fonte solar tem muito espaço para crescer nos próximos anos, se as condições adequadas estiverem postas.	1	2	3	4	5
O Governo Federal e os Governos Estaduais devem desenvolver políticas públicas que contemplem medidas de apoio e incentivo às fontes renováveis.	1	2	3	4	5
O Governo Federal e os Governos Estaduais devem contribuir para a diversificação da matriz elétrica, diminuindo o uso dos recursos hídricos, bem como reduzindo o uso de fontes fósseis.	1	2	3	4	5
A sinergia das pequenas centrais hidrelétricas com outras fontes renováveis (eólica, biomassa e fotovoltaica) proporciona flexibilidade operativa e de armazenamento para matriz elétrica.	1	2	3	4	5
Pequenas centrais hidrelétricas (PCHs e CGHs) podem ser a alternativa para reduzir a implantação de usinas térmicas.	1	2	3	4	5
A concentração de geração eólica e solar na região nordeste força a expansão da rede básica.	1	2	3	4	5
Usinas hidrelétricas de pequeno porte (CGHs, PCHs e UHE) garantem mais energia firme injetada no sistema.	1	2	3	4	5
PCHs/CGHs são capazes de sustentar a sazonalidade da própria demanda.	1	2	3	4	5
Descarbonizar não significa acabar com os combustíveis fósseis, mas sim, acabar com a emissão do CO2 que ele gera.	1	2	3	4	5

Caso tenha interesse nos resultados da pesquisa deixe seu endereço de e-mail:

APÊNDICE 2 – ROTEIRO DE ENTREVISTA

I. Perfil do especialista

1. Formação

Graduado ()

Especializado ()

Mestre ()

Doutor ()

Pós-doutor ()

2. Área de atuação

Serviço público ()

Indústria ()

Instituição financeira ()

Comércio ()

Universidade ()

Outros () Especificar:

3. Tempo de experiência no setor

Menos de 5 anos ()

Entre 5 e 10 anos ()

Entre 10 e 15 anos ()

Entre 15 e 20 anos ()

Mais de 20 anos ()

II. Como você avalia a Matriz Elétrica Brasileira (MEB)

1. Considerando a MEB hoje, incluindo as políticas em vigor e a estratégia de crescimento no Brasil, como elas convergem para diversificar a matriz e atender às metas de emissão de Carbono zero em 2050?
2. Considerando as fontes de geração da MEB, de que forma estas fontes causam impactos ambientais? Como estes impactos podem ser minimizados?

3. A MEB é sustentável sob o ponto de vista da garantia do fornecimento de energia? Justifique sua resposta.
4. Qual o impacto que a Geração Distribuída (GD) poderá causar na MEB? Justifique sua resposta.
5. Quais as dificuldades que o Brasil enfrentará para continuar crescendo com a matriz renovável com vistas a emissão de Carbono zero, garantindo o fornecimento de energia com preços acessíveis a todos?