



RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO

FUTURO DA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

MARIA LUDMILLA CAMPOS DE MORAES / ÉRICO VERAS MARQUES

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ADMINISTRAÇÃO E CONTROLADORIA - PPAC PROFISSIONAL



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

MARIA LUDMILLA CAMPOS DE MORAES

Produto Técnico resultado da pesquisa
FUTURO DA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

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.

14 f.

Relatório Técnico Conclusivo – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Programa de Pós-Graduação em Administração e Controladoria, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Érico Veras Marques.

ISBN: 978-85-7485-488-5

1. Relatório Técnico. 2. Estudos Organizacionais. 3. Gestão de Pessoas. I. Título.

CDD 658.1

MARIA LUDMILLA CAMPOS DE MORAES

FUTURO DA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

Produto Técnico resultante do Trabalho de conclusão de Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Administração e Controladoria da Universidade Federal do Ceará, como produção técnica da área de concentração de Gestão Organizacional.

Linha de Pesquisa: Estudos Organizacionais e Gestão de Pessoas.

Orientador: Prof. Dr. Érico Veras Marques

FORTALEZA

2023

Título: Futuro da matriz elétrica brasileira [Relatório Técnico Conclusivo]

Autores: Maria Ludmilla Campos de Moraes e Érico Veras Marques

Coordenação do Programa de Pós-Graduação: Alessandra Carvalho de Vasconcelos,
Coordenadora do PPAC Profissional; Augusto César de Aquino Cabral, Vice-coordenador do
PPAC Profissional

Editor: Universidade Federal do Ceará (UFC)

Edição Eletrônica: dezembro de 2023

ISBN: 978-85-7485-488-5

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade (FEAAC)

Programa de Pós-Graduação em Administração e Controladoria – PPAC Profissional

Av. da Universidade, 2431, Benfica, CEP 60020-180, Fortaleza-CE

Telefone: (85) 3366-7816

Endereço eletrônico: <https://ppacprof.ufc.br>

Resultado da pesquisa “Futuro da matriz elétrica brasileira”

Turma: MPAC / IEL

Instituição contratante: Instituto Euvaldo Lodi-CE (IEL-CE), integrante do Sistema Confederação Nacional da Indústria – CNI.

Prezada Sra. Superintendente do Instituto Euvaldo Lodi-CE,

Apresentamos a seguir um Relatório Técnico referente à pesquisa realizada por **Maria Ludmilla Campos de Moraes**, sob a orientação do Prof. Dr. Érico Veras Marques, no período de 2020 a 2023, no âmbito do Mestrado Profissional em Administração e Controladoria da Universidade Federal do Ceará.

Estamos certos de que este trabalho constitui um relevante instrumento para melhorias das ações empreendidas pelo Instituto Euvaldo Lodi-CE junto a suas instituições parceiras.

Atenciosamente,

Maria Ludmilla Campos de Moraes, Me. em Administração e Controladoria (UFC)

Érico Veras Marques, Dr. em Administração (EASP/FGV)

DETALHAMENTO DO RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO

Correspondência com os novos subtipos-produtos técnicos/tecnológicos:

- Relatório técnico conclusivo – Processos de gestão elaborado

Finalidade:

Analisar a percepção dos especialistas do setor sobre o futuro da matriz elétrica brasileira, nas dimensões renovável e sustentável.

Impacto – Nível:

- Médio

Impacto – Demanda:

- Espontânea

Impacto – Objetivo da Pesquisa:

- Solução de um problema previamente identificado

Impacto - Área impactada pela produção:

- Econômico

Impacto – Tipo:

- Potencial

Descrição do tipo de Impacto:

Disseminação de práticas que potencializem a gestão organizacional.

Replicabilidade:

- Sim

Abrangência Territorial:

- Nacional

Complexidade

- Média

Inovação:

- Baixo teor inovativo

Setor da sociedade beneficiado pelo impacto:

- Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas

Declaração de vínculo do produto com PDI da Instituição:

- Não

Houve fomento?

- Cooperação

Há registro/depósito de propriedade intelectual?

- Não

Há transferência de tecnologia/conhecimento?

- Não

ISBN: 978-85-7485-488-5

1. APRESENTAÇÃO DA PESQUISA

Este Relatório Técnico é parte integrante do Trabalho de Conclusão do Mestrado Profissional em Administração e Controladoria, que tem por foco a análise da Matriz Elétrica Brasileira (MEB), tema que ganhou maior visibilidade a partir da crise hídrica, em 2001, obrigando o governo, a iniciativa privada e a sociedade a investir em alternativas para solucionar o problema.

A Matriz Elétrica Brasileira (MEB) é eminentemente hídrica, portanto não é sustentável. A fonte hídrica, apesar de renovável, não se constitui em fonte limpa, devido à degradação que provoca na fauna e na flora. Ademais, para o suprimento de energia elétrica nos períodos de estiagem, faz-se necessário utilizar as termelétricas, complementando o fornecimento de energia e onerando as tarifas. Antecipa-se que as fontes eólicas e solar aumentarão significativamente sua participação na MEB até 2030, em especial a solar fotovoltaica (SFV). Diante deste cenário, a pesquisa visou analisar a percepção dos especialistas do setor sobre o futuro da matriz elétrica brasileira, nas dimensões renovável e sustentável. Mais especificamente, buscou:

- 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.

Acerca deste tema, há, correntemente, 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 à energia.

Para a realização da pesquisa, utilizou-se o método misto, abordagem que envolve a coleta de dados quantitativos, mediante um *survey*, utilizando questionário com profissionais que atuam no setor de energia, e qualitativos, por meio de entrevistas semiestruturadas, com cinco especialistas do setor considerados de “notório saber”. A análise dos dados foi realizada por meio de estatística descritiva com suporte do Excel e análise de conteúdo de Bardin, tendo-

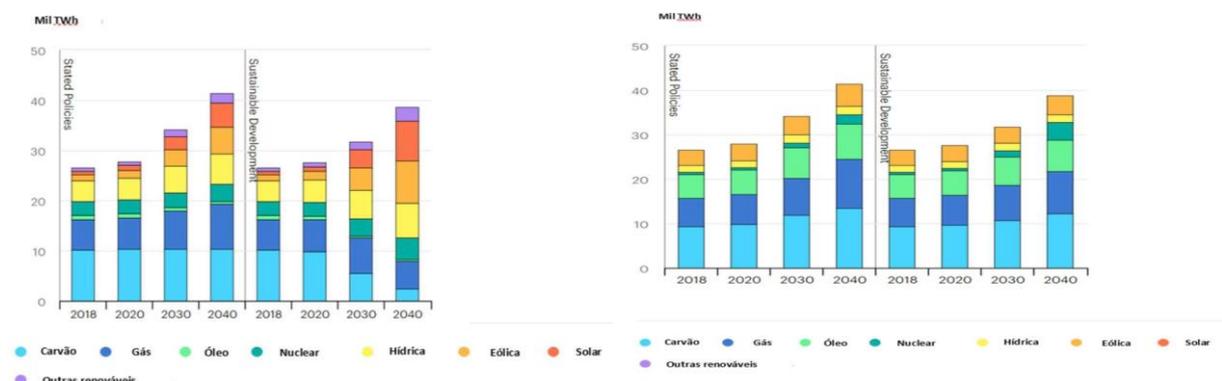
se os resultados comparados com os Indicadores de Energia para o Desenvolvimento Sustentável (EISD) para avaliação da aderência da MEB a estes indicadores.

2. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Agenda 2030 preconiza a necessidade de assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos. Considerando a relevância tanto no que tange à geração quanto ao consumo de energia para a economia mundial, indispensável aos diversos segmentos da atividade econômica, identifica-se que a própria economia depende da geração de energia que, por sua vez, depende da disponibilidade dos recursos naturais. 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.

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. Conforme a International Energy Agency (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 1 e 2, podem ser visualizados o crescimento da geração e da demanda por energia elétrica estratificada por setor e por cenário.

Fig. 1 – Geração de energia elétrica por fonte Fig. 2 - Demanda de eletricidade por setor e cenário, 2018-2040.



Fonte: IEA (2021).

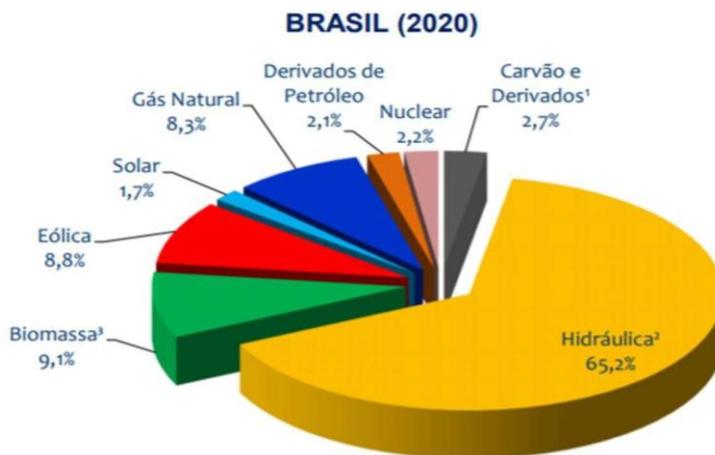
O importante papel da energia elétrica, identificado como bem essencial ao desenvolvimento econômico e social, remete a necessidade de analisar a direção que a matriz elétrica brasileira está tomando, bem como identificar as políticas de construção dessa matriz. Mais importante ainda é verificar se a 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.

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, 2021). O gráfico 1 demonstra que o Brasil já detém uma matriz renovável, mas não sustentável por estar baseada notadamente na energia gerada por bacias hidrográficas do país.

Gráfico 1 – Matriz elétrica brasileira.



Fonte: EPE (2021).

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 referentes à 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. 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.

A *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. Nesta direção, 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.

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. Existem interesses divergentes no tocante ao desenvolvimento econômico e ao desenvolvimento sustentável, tornando-se, portanto, necessário que sejam consideradas as duas óticas e tratados os pontos de divergência, conforme evidenciam os resultados apresentados a seguir.

No que se refere à análise dos marcos regulatórios para o setor, identificou-se uma resistência à implantação de térmicas e de pequenas centrais hidrelétricas. Essa 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.

Os dados da pesquisa corroboram a necessidade mundial de proceder com a transição energética. Acerca da regulamentação do setor, os entrevistados salientaram a necessidade atual de regulação, por causa do surgimento de novas fontes, como o hidrogênio verde, além da necessidade de expandir a geração de energia elétrica com usinas *offshore*. Para que se esclareça, as usinas eólicas *offshore* são instaladas em alto-mar, obtendo-se melhor aproveitamento da força do vento, porque este atinge maior velocidade em regime mais constante. Isso acontece devido à inexistência de barreiras.

Em relação à análise das políticas de diversificação da matriz, identificou-se um ponto de divergência quanto a diversificar a matriz com fontes nuclear e hidrotérmica. Percebe-se uma divergência quanto à expansão da fonte hídrica ou da sua combinação com outras fontes, como biomassa e eólica, para dar estabilidade ao sistema. Conclui-se que as hidrelétricas não fazem mais parte da escolha do setor no sentido da diversificação da MEB.

Destaca-se que todos os entrevistados abordaram o assunto hidrogênio verde como alternativa à diversificação da matriz. Contudo, em princípio, este não será utilizado para

geração de energia elétrica, mas será empregado para geração de outras fontes de energia secundárias.

Quanto ao mapeamento das estratégias para uma matriz renovável, observou-se uma discordância quanto ao impacto ambiental causado pela fonte eólica. Discordam, também, da combinação de fontes e da utilização de pequenas centrais hidrelétricas para dar estabilidade ao sistema. Na avaliação do setor, as fontes renováveis causam impacto ambiental. Ademais, os resultados indicam que o problema de fornecimento de energia não deverá ser resolvido com fontes hídricas.

Os entrevistados concordam que a MEB já é fortemente renovável. Entretanto, o fato de a 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 e ambiental. No mapeamento surge a necessidade de desenvolver tecnologias para captura de carbono. A MEB é renovável, causa impactos ambientais independentemente da fonte, não é sustentável sob o aspecto de garantia de fornecimento, e não crescerá com a instalação de hidrelétricas. Na visão dos especialistas, existe dúvida quanto a seguir com fonte nuclear, apesar de limpa, e não concordam com geração híbrida, quando inclui as pequenas centrais hidrelétricas.

No que tange ao mapeamento das estratégias para uma matriz sustentável, observou-se uma divergência quando se faz referência à sustentabilidade pela ótica ambiental, ou seja, fontes renováveis causam impacto. No tocante à sustentabilidade pela ótica do fornecimento, constata-se que a matriz não é sustentável, e questiona-se o uso de hidrelétrica para estabilizar o sistema.

Acerca das estratégias para uma matriz sustentável, salienta-se o crescimento da geração distribuída. Todos enfatizaram que para a MEB ser sustentável pela ótica de fornecimento de energia, questão importante relacionada à pesquisa, o Brasil terá que fazer opção por descentralizá-la, mesmo considerando o Sistema Interligado Nacional (SIN) uma grande vantagem para o país, em função das grandes distâncias para transmissão de energia.

Quanto à identificação das características da matriz elétrica para o futuro, conclui-se que o Brasil tem a matriz do futuro, renovável e com baixa emissão de carbono. Os respondentes não concordam com fontes híbridas que incluam as hidrelétricas, em especial de pequeno porte. Indicam, também, uma divergência quanto ao aspecto de descarbonização, porém a maioria concorda que a emissão de carbono será reduzida, mas não chegará a zero.

Os resultados da pesquisa apontam a necessidade de se armazenar a energia gerada pelas fontes eólica e solar, consideradas fontes variáveis opondo-se às despacháveis, que

geram ininterruptamente. A este respeito, cabe lembrar 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.

3. CONCLUSÃO

A discussão sobre o futuro da Matriz Energética Brasileira vem acontecendo nas diversas esferas da sociedade, tais como: governos federal, estaduais e municipais; no meio empresarial, com forte atuação da Federação das Indústrias do Ceará (FIEC); na academia, através da Universidade Federal do Ceará (UFC) e do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (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 no Nordeste. Em função dessa necessidade, existe um direcionamento no sentido de expandir a geração distribuída, visando reduzir os investimentos em infraestrutura de transmissão, além de garantir o fornecimento de energia às cinco regiões do país.

Para o futuro da MEB, vislumbra-se ainda a capacidade de produzir e exportar hidrogênio verde, por meio 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. Com essas fontes de geração de energia, o Brasil desponta com alta probabilidade de ser um dos expoentes da economia mundial nos próximos dez anos.

Observou-se também que existe a compreensão de que, apesar de praticamente 100% renovável e sustentável pela ótica ambiental, a MEB não é sustentável pela 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: a extensão territorial 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 geração distribuída, 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 identificado foi a necessidade de armazenar toda a energia elétrica excedente. A grande preocupação é gerar e não consumir, pois isso significa desperdício, principalmente em se tratando de fontes de geração que não emitem CO₂, como é o caso das energias eólica e solar. O objetivo é não desperdiçar água, e que a água seja usada para o consumo humano e animal. Se a energia eólica e solar excedente for armazenada, pode-se manter a água das hidrelétricas represada e, portanto, não utilizada para fins de geração de energia.

Ainda sobre o armazenamento da energia 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, que já vêm sendo testadas em países como, por exemplo, Alemanha, Suíça e Reino Unido.

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

O movimento pró-hidrogênio verde acelerou-se após o início da guerra da Rússia com a Ucrânia, em fevereiro de 2022, quando, após a invasão da 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 dependentes de gás natural.

Em função da necessidade de se produzir hidrogênio verde, acelerou-se no Brasil o processo para instalação de usinas eólicas offshore, que são 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 50 m de profundidade, e conta com 74 projetos em licenciamento no Ibama, representando 183 GW de potência. Desse total, o Ceará tem 56,6 GW em tramitação no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), correspondente a 31% do que poderá ser instalado no Brasil.

Dentre as dificuldades enfrentadas, destaca-se o acesso aos especialistas do setor elétrico, atualmente dedicados a definir os marcos regulatórios no que tange à legislação

ambiental, à utilização da costa brasileira para implantação de usinas offshore, à produção de hidrogênio verde, o que, pelo volume de trabalho necessário para que se regule o setor, a autora julga ter sido o maior motivo da dificuldade na obtenção das respostas.

Este trabalho contribui com uma ótica diversa para o setor elétrico, já 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 pela ótica do atendimento à demanda. Contribui ao sinalizar quais as principais formações e qualificações que 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.

Em tempo, ressalta-se que o tema carece de estudos mais abrangentes, com foco, por exemplo, nos marcos regulatórios anteriores e em construção, no tocante à 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. 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 ao setor de energia, proporcionando alternativas para o acesso das comunidades mais carentes às condições mínimas que o fornecimento de energia elétrica oferece, e, quem sabe, reduzir as desigualdades sociais, problema secular no Brasil.

REFERÊNCIAS

- EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **BEN-Balanco Energético Nacional** – Relatório síntese, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>. Acesso em: 10.jul.2021.
- 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.
- IRENA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Analytical frameworks for electricity security**. 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/search?q=electricity%20security%202021>. Acesso em: 3 jul. 2021.