

OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL COM BASE EM DISTINTAS ZONAS GEOGRÁFICAS DO BRASIL: RUMO A UM FUTURO SUSTENTÁVEL E ECONÔMICO.

Atila Bezerra Almeida; Alexandre Pinto de Souza Ferreira; Arthur Gouveia Couto Souza; Felipe Augusto de Cerqueira Fonseca; Matheus Ribeiro França; Sérgio Oliveira Pinheiro Bomfim Rios; Ricardo Lima Travassos; Morjane Armstrong Santos de Miranda

Atila Bezerra Almeida; Graduando em Engenharia da Computação; Centro Universitário SENAI CIMATEC; 0atila.brz0@gmail.com
Alexandre Pinto de Souza Ferreira; Graduando em Engenharia da Computação; Centro Universitário SENAI CIMATEC; alexandre.ferreira@aln.senaicimatec.edu.br
Arthur Gouveia Couto Souza; Graduando em Engenharia da Computação; Centro Universitário SENAI CIMATEC; arthur.souza@aln.senaicimatec.edu.br
Felipe Augusto de Cerqueira Fonseca, Graduando em Engenharia da Computação; Centro Universitário SENAI CIMATEC; f.fonseca@ba.estudante.senai.br
Matheus Ribeiro França; Graduando em Engenharia da Computação; Centro Universitário SENAI CIMATEC; matheus.franca@aln.senaicimatec.edu.br
Sérgio Oliveira Pinheiro Bomfim Rios, Graduando em Engenharia da Computação; Centro Universitário SENAI CIMATEC; sergio.rios@aln.senaicimatec.edu.br
Ricardo Lima Travassos - Engenheiro Mecânico - Mestre em Engenharia – Doutorando do Centro Universitário SENAI CIMATEC - ricardo.travassos197@gmail.com
Morjane Armstrong Santos de Miranda; Doutora em Administração; Centro Universitário SENAI CIMATEC; morjanessa@gmail.com

RESUMO

Quando se discute energia, a sustentabilidade surge como uma das principais preocupações para o futuro. O uso de energias sustentáveis não apenas melhora o meio ambiente, mas também reduz os custos associados a outras fontes de energia. O Brasil, um país de dimensões continentais e com uma vasta diversidade de recursos naturais, principalmente recursos hídricos, possui potencial significativo para a expansão, com a capacidade de liderar esse movimento em direção a matrizes energéticas mais sustentáveis. A partir dessa necessidade, este estudo busca identificar maneiras de implementar energia sustentável de forma eficaz e econômica no Brasil, a partir da busca e análise crítica da literatura relevante sobre energias sustentáveis e estratégias para sua viabilização.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade; Energia Renovável; Meio Ambiente

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos tempos, no Brasil, tem-se notado a intensificação de problemas relacionados ao meio ambiente, principalmente quando se trata de emissão de gases de efeito estufa até a intensificação da problemática referente ao esgotamento de matérias primas, como rios e bacias hidrográficas, utilizadas em represas, bem como combustíveis fósseis. O uso de energia não renovável vem deteriorando, constantemente, o meio ambiente, devido a poluição causada de várias formas, mas principalmente pela emissão de gás carbônico, elemento contribuinte como gás do efeito estufa e nocivo em vários aspectos ambientais. Na intenção de mitigar esse fato, a utilização de fontes renováveis para a produção de energia tornou-se essencial para diminuir tais emissões. Entretanto, existe um impasse em torno dessa questão, que é a limitação do uso de fontes renováveis em determinadas regiões do Brasil. Essa limitação se dá por conta dos altos custos envolvidos, das condições regionais e ambientais, já que o Brasil é amplamente diversificado, abrigando uma variedade de ecossistemas, dentre outros como florestas, regiões áridas e cerrados.

Apesar dos progressos substanciais, nota-se que, em algumas áreas do Brasil, pode haver ausência de infraestrutura necessária para a geração, distribuição e uso dessas fontes energéticas, o que pode representar um problema para a ampliação dos programas de energia renováveis. As metodologias atuais deram grandes saltos em termos de inovação, mas ainda existem oportunidades para novas ideias que podem melhorar a forma como a energia é gerada a custos reduzidos e, ao mesmo tempo, proteger o ambiente.

Nesse contexto, estudos realizados pela Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento, apontaram que nos últimos sete anos, o Brasil emergiu como líder em investimentos internacionais no setor de energias renováveis e superou outras economias em desenvolvimento. De acordo com dados do relatório de investimentos, o Brasil recebeu 114,8 bilhões de dólares em investimentos entre 2015 e 2022 (CNN BRASIL, 2023). Os presentes estudos avaliam as capacidades de fontes como solar, eólica, hidrelétrica e biomassa para diversas partes do país.

Para abordar esses desafios, foi proposto estudos de caso em diferentes regiões do Brasil, avaliando o potencial de diferentes fontes de energia limpa, com a finalidade de identificar as melhores práticas para sua implementação para cada estado/região, considerando suas peculiaridades urbanas e rurais. Além disso, serão desenvolvidas análises de custo-benefício para avaliar o impacto econômico e ambiental da transição para uma matriz energética mais limpa e mais acessível.

Este estudo oferece perspectivas sobre os benefícios tangíveis da energia limpa, através de estudo de caso trazer como resultado a redução da dependência de combustíveis fósseis, além de contribuir para o avanço do conhecimento científico e tecnológico no campo da energia limpa. Ao preencher lacunas de pesquisa, tais como compensação de carbono, produção de energia sustentável, através da reutilização de recursos naturais, como energia solar, juntamente com ideias inovadoras para o barateamento das tecnologias necessárias, será capaz de impulsionar ainda mais a transição para um sistema energético mais sustentável.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No princípio da humanidade, isto é, no período paleolítico, 50 mil anos a 12 mil anos a.C, predominou-se, a utilização do fogo, desde sua descoberta pelos Homo Erectus, através da fricção de pedras e emissão de faíscas capazes de queimar madeiras ou materiais de fácil combustão, como fonte de energia. (FIOCRUZ, 2021). Esse processo químico se dá pela combinação de combustível, calor e oxigênio, o que possibilitou o uso do fogo na preparação de alimentos, proteção e conforto térmico, proporcionado pelo calor emitido na queima.

Durante o período Neolítico, 10.000 a.C. até de 3000 a.C, os nômades passaram a viver em grupo, fixando-se em locais propícios para sua sobrevivência, intervindo e adaptando-o conforme suas necessidades. A partir disso e, com a evolução de ferramentas de manufatura, iniciou-se a agricultura e o plantio para produção de suprimentos básicos. Esse processo fomentou mudanças culturais e o início de disputas territoriais entre diferentes grupos já estabelecidos, bem como o processo inicial de urbanização, através do surgimento de cidades, possibilitando o crescimento populacional (ESCOLA KIDS, 2018). Esse avanço, somado ao desenvolvimento de novas ciências e tecnologias, ainda limitadas pelo conhecimento da época, permitiu o surgimento de moinhos eólicos e moinhos de água como mecanismo de irrigação e processamento de grãos e extrações de alimentos produzidos no plantio, explorando a energia mecânica como fator predominante para substituição da força motora de animais e humanos. (FIOCRUZ, 2021).

A utilização de madeiras, combinado ao fogo, bem como os diferentes parques de moinhos hidráulicos e eólico, utilizado nas práticas agrícolas e subsistência humana, ainda nos primórdios, marcaram na história como a era de energias renováveis, fato que se perdurou até meados do século XVIII. Em 1786, iniciou-se uma nova era, com a chegada da 1ª Revolução Industrial, denominada como “a era do carvão e do ferro”, dando início ao uso de energia não renovável, através de combustíveis fósseis e carvão mineral (IBA MENDES, 2011). A principal invenção da época, a máquina a vapor, tornou-se a principal força motriz. Através da pressão do vapor, pistões, instalados em sua estrutura, movimentam-se, transformando energia térmica em energia mecânica, alimentando todo o sistema, gerando energia (IFC, 2022). Tal inovação, somado à produção de ferro na época, contribuiu para a construção de transportes terrestres, como ferrovias, bem como embarcações a vapor. Com o advento das máquinas a vapores, a manufatura e processos artesanais deixaram de ser o principal meio de produção, cedendo espaço a maquinofatura, caracterizando um aumento na economia, devido a escala adquirida na produção de mercadorias.

Um pouco mais adiante, em meados de 1860, a 2ª Revolução Industrial marcou uma nova fase: a era do aço e da eletricidade. Nesse contexto, a ascensão do petróleo permitiu a composição e derivação de substâncias, como querosene, usadas na produção de energia. Nesse cenário de transformações tecnológicas,

algumas figuras importantes para a história desempenharam papéis cruciais. O empresário e inventor Thomas Edison, em particular, contribuiu significativamente ao introduzir as lâmpadas elétricas, cuja inovação era composta por bulbo de vidro a vácuo contendo um filamento com algodão carbonizado (MUNDO EDUCAÇÃO). Por sua vez, o engenheiro Nikola Tesla desenvolveu os principais conceitos de energia alternada, possibilitando que a eletricidade pudesse ser transmitida por longas distâncias de forma mais eficiente e econômica. Essa pesquisa possibilitou a difusão de sistemas de iluminação em grandes centros urbanos, residenciais e industriais, além do mais, os sistemas de fornecimento de energia desencadearam invenções como: telégrafo, corantes sintéticos e motor a explosão (BRASIL ESCOLA). Nikolaus August Otto, engenheiro alemão, construiu o primeiro motor a combustão, ato que alavancou, ainda mais, a produção de automóveis baseado nessa tecnologia, aumentando a demanda por gasolina à base de querosene e o uso em larga escala do petróleo (ALCOFORADO, 2021).

Nesse cenário evolutivo, no ano de 1893, a chamada “Guerra das Correntes Elétricas”, disputa pela utilização de corrente contínua, defendida por Thomas Edison, ou correntes alternadas, defendida por Nikola Tesla, contribuiu para o surgimento de sistemas elétricos que, posteriormente, se tornou base para a construção de usinas hidrelétrica, termoeletricas e usinas nucleares. A capacidade de transmitir energia a longas distâncias permitiu a construção de grandes usinas de geração em locais remotos, onde recursos naturais, como rios para hidrelétricas ou combustíveis fósseis para termoeletricas, eram abundantes (ALCOFORADO, 2021).

A partir do século XX, surgiram os primeiros reatores nucleares, tecnologia criada para produção de eletricidade baseada em reações nucleares, proveniente da fissão de átomos de urânio que, ao ser bombardeado por nêutrons, resulta na divisão do núcleo em dois núcleos menores e libera energia e nêutrons adicionais, promovendo uma quantidade enorme de energia em forma de calor. As usinas nucleares, diferentemente das termoeletricas, que utilizam carvão ou gases para geração de energia, ou das hidrelétricas, que necessitam da devastação e alagamento de grandes reservas naturais para construção dos reservatórios, não utilizam de combustíveis fósseis, assim como não requer da devastação de grandes parques ecológicos para sua construção. Em contrapartida, o processo de fissão nuclear em átomos de urânio gera resíduos radioativos, qual não podem ser descartados, inadequadamente, pois pode ocasionar acidentes catastróficos para a humanidade, como de Chernobyl em 1986, e o acidente do Césio-137 em Goiânia em 1987 (BRASIL ESCOLA).

Diante desse contexto de mudança, o mundo foi se adaptando às novas matrizes que surgiram, desde a antiguidade, passando pelas revoluções industriais, até a chegada das usinas nucleares e novas formas de produção de eletricidade. Ainda nesse cenário transitório, o processo de urbanização e crescimento populacional levou a sociedade a novos rumos em busca de qualidade de vida, marcando, assim, a expansão da cidade, com o surgimento de transportes elétricos, modernização de construções civis e surgimento de redes de comunicações, como a

internet, conseqüentemente, a demanda por energia aumenta, devido a necessidade de manter infraestruturas mais complexas.

Nesse contexto, torna-se necessário o debate sobre sustentabilidade, encontrando formas de utilizar os recursos naturais sem comprometer os ecossistemas. Uma pesquisa conduzida pela The Nature Conservancy, em colaboração com a Universidade de Minnesota e outras instituições, ofereceu uma visão esclarecedora que concilia um caminho sustentável como um equilíbrio entre as necessidades humanas e a preservação da natureza. Essa pesquisa enfatiza, através de análises científica, a viabilidade do uso de tecnologias, a adoção de abordagens e hábitos padronizados como elementos-chave para o progresso global em diversos setores, incluindo a produção e o consumo de energia (THE NATURE CONSERVANCY, 2019). Em suma, a mudança de comportamento e hábitos traz consigo a responsabilidade de preservar por mais tempo aquilo que é finito, estendendo assim a vida útil dos recursos naturais. Por outro lado, a tecnologia desempenha um papel crucial para a adoção de métodos inovadores mais sustentáveis, como a produção de energia por meio de técnicas renováveis, como captação solar, captações geotérmicas e otimização de resíduos orgânicos para energia proveniente de biomassa.

Com o início do século XXI, aproximadamente 80% da produção de energia elétrica era composta por carvão, petróleo e gás, além de uma pequena participação de fontes de energia limpas, como hidrelétrica com 1,73% e eólica com 0,32%, entre outras com contribuições mínimas, prevalecendo assim os combustíveis fósseis (GOLDEMBERG, 2009). O uso contínuo de energias não renováveis trazem diversas conseqüências, como a emissão de gases nocivos que influenciam no aumento do efeito estufa e, conseqüentemente, contribuem para o aquecimento global. De acordo com pesquisas realizadas pela Agência Internacional de Energia, se o ritmo de consumo médio da última década for mantido, as reservas de gás natural, por exemplo, irão se esgotar em 100 anos. (GRUPO QUANTA)

Diante desse cenário, diversos países ao redor do planeta estão buscando ampliar o uso de energias limpas. Entre os principais países nesse esforço, destacam-se os EUA, China, Alemanha e Índia (SOLARVOLT). No entanto, mesmo com esses esforços e mudanças de políticas para uma abordagem mais sustentável, a comunidade internacional ainda enfrenta desafios significativos para reduzir o aquecimento global a 1,5 graus Celsius, como recomendado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas da ONU. (BRASIL UN).

3. METODOLOGIA

Esse estudo consiste em uma pesquisa bibliográfica, que consiste na busca e análise crítica de literatura relevante relacionada a perspectivas sustentáveis para produção de energia, análise quantitativa de custos associados às implantações e manutenção de diferentes matrizes energéticas, bem como os riscos associados ao meio ambiente. A partir de uma abordagem quali-quantitativas será possível realizar uma leitura sistemática de bases de dados eletrônicas, bibliotecas acadêmicas,

artigos científicos e portais de notícias que abordam o cenário atual de produção e distribuição de energia, como também projeções e perspectivas futuras com impactos positivos ao se tratar de sustentabilidade, meio ambiente e soluções acessíveis.

3.1. Análise de principais matrizes energética do Brasil

FIGURA 1 - PRINCIPAIS FONTE DE ENERGIA POR REGIÃO



FONTE: ABRHIDRO, 2023

O Brasil, além de possuir uma imensa extensão territorial, destaca-se pela abundância em recursos hídricos, possuindo a maior reserva hidrológica do planeta, somando 5,661 milhões de metros cúbicos (AGUABOA). Essa abundância não só influencia na biodiversidade de seus ecossistemas, como também contribuiu para a construção de usinas hidrelétricas capazes de fomentar a distribuição energética em seus estados. Presente em 12 estados, as hidrelétricas são responsáveis pela produção 51,3% da energia total, constituindo-se a maioria (ABRHIDRO, 2023).

Devido à presença predominante de serras, planaltos e vales profundos, a topografia da região Sul e Sudeste oferece condições adequadas de queda de água, capazes de fornecer força suficiente para as grandes turbinas geradoras de energia. Somado a isso, as grandes bacias hidrográficas presentes na região, tais como a Bacia do Paraná, constituída por uma grande depressão em seu relevo, devido aos seus rios de planalto, favoreceu a condições necessárias para a construção das usinas, graças ao seu fluxo constante de água e suas quedas naturais.

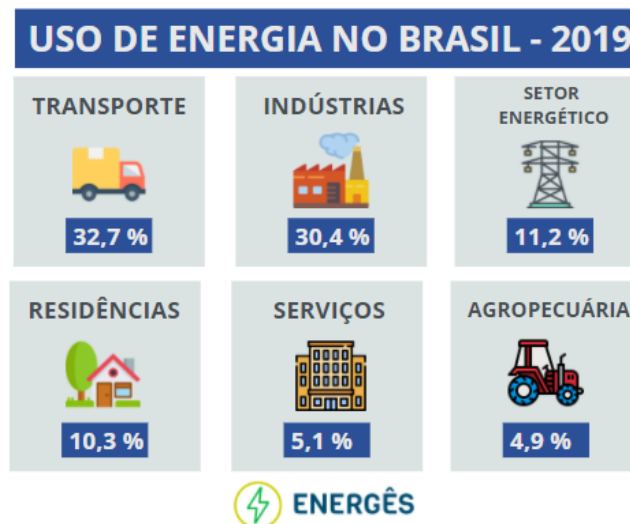
A região Nordeste destaca-se na produção de energia eólica, devido ao seu favorecimento pelos ventos alísios. Os parques eólicos são favorecidos pelos ventos

fortes e constantes, além de serem unidirecionais, permitindo que os aerogeradores não necessitem rotacionar.

Representando 11,5% da geração de energia no Brasil, a energia fotovoltaica utiliza dos raios solares para conversão em eletricidade, característica que favorece regiões do nordeste, graças aos maiores índices de radiação solar no estado, além da presença do silício, principal matéria prima utilizada na indústria (ABRHIDRO, 2023).

A energia gerada pelas diferentes matrizes mencionadas, é distribuída em diferentes setores, tais como transporte, comida, geração de eletricidade e etc. De acordo com o Balanço Energético Nacional, tendo em base o ano de 2019, houve uma evolução de 1,4% na oferta interna de energia em relação ao ano anterior, atingindo um total de 294,0 Mtep – Milhões de petróleo equivalente (ENERGES).

FIGURA 2 - PERCENTUAL DO USO DE ENERGIA NO BRASIL POR SETOR



FONTE: ENERGES

3.2. Análise de custo para a integração de energia eólica e energia fotovoltaica no Brasil

O Brasil está intensificando seus esforços para diversificar sua matriz energética, priorizando o aumento da integração de fontes renováveis, como eólica e solar, em busca de um futuro sustentável e economicamente viável.

Nesse viés, é necessário analisar dados do Plano Decenal de Expansão de Energia 2026, como base para os cenários de expansão das energias renováveis, juntamente com informações sobre os custos de implantação e operação de fontes renováveis, conforme fornecido pela Associação Brasileira de Energia Eólica e pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Os cenários projetados pelo PDE 2026 incluem uma projeção que prevê a maior inserção e demanda de renováveis até 2035, com um investimento adicional de R\$ 94 bilhões em renováveis até 2026, devido a uma redução nos custos de investimento em energia solar, abrangendo diversas fontes renováveis (eólica, solar, biomassa) na matriz elétrica. (EPE, 2017)

As projeções apontadas nos índices publicados pelas associações indicaram que os custos previstos para os próximos anos seguirão a mesma tendência observada entre o período de 2010 a 2020, quando os valores dos investimentos necessários caíram pela metade. As estimativas de reduções a longo prazo preveem uma redução de custo na faixa de 38% a 53% no ano de 2035 e de 54% a 64% no ano de 2050. Para tais projeções, as análises se baseiam em custos associados a cada fase do ciclo de vida das principais fontes renováveis, incluindo Devex (Custo de Desenvolvimento), Capex (Despesas de Capital), Opex (Custo de Operação) e Decex (Despesa de Descomissionamento). Além disso, é necessário analisar a sensibilidade para diferentes cenários de expansão das energias renováveis, considerando variações nos custos de investimento, operação e manutenção, e descomissionamento. (SEBRAE, 2022)

3.3. Quais os custos e benefícios das fontes de energias renováveis no Brasil?

Com o objetivo de avaliar os reais custos e benefícios das fontes de geração elétrica, a partir da análise de diferentes atributos, baseando-se em características únicas que as diferenciam entre si, o Instituto Escolhas trás uma metodologia por meio da valoração dos atributos de cinco componentes, que são eles: Custos de investimentos e operações, serviços prestados pela fonte além da produção de energia propriamente dita, custos de infraestrutura causados pelo gerador, subsídios e isenções, e custos ambientais (INSTITUTO ESCOLHAS, 2018). Dentre esses atributos analisados as fontes renováveis são as que apresentam o menor custo de investimento e operação em relação às energias não renováveis. Outro atributo avaliado está nos serviços prestados pela fonte de energia, considerando características como a sazonalidade, a robustez, a confiabilidade e a modulação, que era nada mais do que a capacidade do gerador atender a uma certa demanda ao longo do mês. E nesse requisito, dentre todas as fontes de energias renováveis como a hidrelétrica, a biomassa, solar, e a eólica, a energia termelétrica é a fonte que se destacou, em comparação a outras. Em relação a análise do atributo de investimentos em infraestrutura para o funcionamento adequado do sistema elétrico, a biomassa é a que apresenta menor custo e infraestrutura. O penúltimo atributo analisado, traz um destaque importante às isenções tributárias, o financiamento a taxas diferenciadas por instituições financeiras públicas e os incentivos regulatórios. Desse modo, dentre as fontes renováveis analisadas as fontes provenientes das energias solares, eólicas e pequenas centrais hidroelétricas (PCH) foram as que mais se destacaram em receberem subsídios do governo. Vale ressaltar que o governo não só subsidia as energias renováveis, mas também outras energias como as fósseis. (INESC, 2022)

FIGURA 3 - FONTE DE ENERGIA: FÓSSEIS x RENOVÁVEIS



FONTE: METODOLOGIA INESC

A última análise elaborada pelo instituto corresponde aos atributos de custos ambientais, no qual se reflete para a sociedade, pois remete a trazer danos biológicos que atingem ao ambiente como um todo. Desse modo, um dos elementos muito discutido nessa análise é a emissão dos gases de efeito estufa, o que acaba incorporando ao debate a precificação das fontes de energia. De acordo com a análise, as termelétricas são as fontes com maior custo que mais geram emissões dos GEE, dentre as energias envolvidas no estudo (INSTITUTO ESCOLHAS, 2018). Apesar desse cenário parecer grave, o Brasil se comprometeu em 2015, na COP-21, no acordo de Paris, a reduzir as emissões do GEE para o país após 2020. E que apesar dos dados mostrarem um aumento crescente é um dos poucos países que apresentam uma margem bastante favorável em termos de fontes de energia limpa, comparada aos outros países (EPE, 2017)

3.4. Perspectivas futuras de sustentabilidade: Hidrogênio Verde

No futuro próximo, a energia de hidrogênio demonstra ser altamente promissora. De acordo com a Agência Internacional de Energia, em 2020, dez governos adotaram estratégias para o hidrogênio: Canadá, Chile, França, Alemanha, Holanda, Noruega, Portugal, Rússia, Espanha e União Europeia – sendo que a França já havia adotado um Plano de Implantação de Hidrogênio para a Transição Energética em 2018 (SILVA, 2024).

Em setembro de 2021, mais quatro estratégias foram adotadas pela República Tcheca, Colômbia, Hungria e Reino Unido, enquanto a Noruega divulgou um roteiro para completar sua estratégia adotada em 2020. Além disso, a Polônia e a Itália lançaram estratégias para consulta pública, e mais de 20 outros países anunciaram que estão desenvolvendo ativamente as suas. Prevê-se que a produção de hidrogênio a partir da eletrólise alcance a liderança até 2030. A Austrália, em 22 de novembro de 2019, lançou sua Estratégia Nacional de Hidrogênio, com foco nas

alternativas de baixo carbono e uma ambição: posicionar a indústria australiana como um importante figura-chave até 2030 (SILVA, 2024).

Ao todo, a estratégia desenha 57 ações conjuntas para os governos australianos, considerando exportações, transporte, uso industrial, redes de gás, sistemas elétricos e questões transversais como segurança, emprego e impactos ambientais, além de uma iniciativa de 1,3 bilhão de dólares australianos (EPBR, 2023). Já no Brasil, a competitividade vem crescendo, tanto do ponto de vista do governo, como dos agentes privados. Atualmente existem projetos pilotos em desenvolvimento no Brasil que já estão em operação, que são Itaipu, Cesp e Furnas, com projetos de P&D utilizando energia fotovoltaica com o foco de usar o hidrogênio para armazenamento de energia elétrica de longo prazo (CANAL ENERGIA, 2022), além disso o Brasil já registra 30 bilhões de dólares em empreendimentos anunciados e possui potencial técnico para produzir 1,8 gigatonelada de hidrogênio por ano. (PETRONOTICIAS, 2023)

Dentre as regiões brasileiras, o nordeste se destaca entre diferentes nações mundiais. Na Bahia, por exemplo, está sendo investido cerca de US\$1,5 bilhão no desenvolvimento de um projeto em escala industrial (CANAL SOLAR, 2023). No Rio Grande do Norte, a produção de hidrogênio verde iniciou-se a partir de 2024, podendo alcançar o equivalente a 130 gigawatts. Ainda nesse estado, a expectativa para os próximos 2 anos é que as atividades do setor devem se concentrar em uma produção de pequena escala cuja capacidade gira em torno de 10 a 16 megawatts (CERNE). Já o Ceará criou um HUB de hidrogênio verde no Complexo do Pecém, com a finalidade de reduzir a emissão de gases poluentes com novos investimentos e ampliar as oportunidades de negócios com geração de empregos em todo estado e, assim, impulsionar a economia do Ceará, sobre sua produção de hidrogênio verde no Porto do Pecém, como uma capacidade projetada de 6 gigawatts até 2034. Isso deve duplicar a quantidade de empregos diretos e indiretos na região, que hoje gira em torno de 80 mil, além de contribuir ainda mais com a redução de energias não renováveis (CEARÁ GOV, 2024).

Diante dos investimentos significativos em energia renovável e projetos sustentáveis na região nordeste do Brasil, fica evidente o potencial de crescimento econômico e desenvolvimento sustentável que essas iniciativas promovem. Com a implementação de projetos como o Canal Solar na Bahia, a produção de hidrogênio verde no Rio Grande do Norte e o HUB de Hidrogênio Verde no Ceará, a região está se consolidando como um polo de inovação e sustentabilidade no país. Além de impulsionar a economia local e gerar empregos, essas iniciativas também contribuem significativamente para a redução das emissões de gases poluentes.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil lidera investimentos internacionais em energia renovável. **CNN Brasil**, 15 de outubro de 2023. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/brasil-lidera-investimentos-internacionais-em-energia-renovavel-diz-relatorio-da-onu/>. Acesso em: 10 de maio de 2024.

Quais os planos da Petrobras para o fim da era do petróleo? **BBC News Brasil, G1 Globo**, 12 de abril de 2022. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2022/04/12/quais-os-planos-da-petrobras-para-o-fim-da-era-do-petroleo.ghtml>>.

Uma Visão Global Alcançável para a Preservação e Bem-Estar Humano. **The Nature Conservancy; Universidade de Minnesota**, 10 de março de 2019. Disponível em: <https://www.tnc.org.br/conecte-se/comunicacao/artigos-e-estudos/um-futuro-onde-pessoas-e-natureza-prosperam-e-possivel-/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw8diwBhAbEiwA7i_sJSbZyW-IXH0NCmOhBs1NUtAirrkwg2WI2SqQpLL74n_Virx15_CwjxoC_m8QAvD_BwE>. Acesso em: 11 de abril de 2024.

Alcoforado. S. Revoluções energéticas ao longo da história e seu rumo, 2021, LinkedIn. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/revolu%C3%A7%C3%B5es-energ%C3%A9ticas-ao-longo-da-hist%C3%B3ria-e-sua-rumo-alcoforado/>>. Acesso em: 18 abr. 2024.

O homem e o fogo. In Vivo - Ciência e Tecnologia. **Fiocruz (Fundação Oswaldo Cruz)**, 29 de novembro de 2021. Disponível em: <<https://www.invivo.fiocruz.br/cienciaetecnologia/o-homem-e-o-fogo/#:~:text=Entre%201%2C8%20milh%C3%B5es%20e,f%C3%A1cil%20combust%C3%A3o%2C%20pegaria%20fogo%20normalmente>>. Acesso em: 18 abr. 2024.

SILVA, Daniel. Período Neolítico. **Escola Kids**. Disponível em: <<https://escolakids.uol.com.br/historia/periodo-neolitico.htm#:~:text=O%20per%C3%ADodo%20Neol%C3%ADtico%20se%20estendeu,Neol%C3%ADtica%2C%20que%20permitiu%20a%20sedentariza%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 18 abr. 2024.

MUSITANO, Manuela. Moinhos: energia hidráulica ou eólica? In Vivo - Ciência e Tecnologia. **Fiocruz (Fundação Oswaldo Cruz)**, 29 de novembro de 2021. Disponível em: <<https://www.invivo.fiocruz.br/cienciaetecnologia/moinhos-energia-hidraulica-ou-eolica/>>. Acesso em: 18 abr. 2024.

PACAZZA, Isabela et al. MÁQUINAS TÉRMICAS A VAPOR. **Anais da Feira de Ciência, Tecnologia, Arte e Cultura do Instituto Federal Catarinense do Campus Concórdia**, v. 5, n. 1, p. 75-75, 2022.

IBAMENDES. O impacto da máquina a vapor na revolução industrial. Disponível em: <<http://www.ibamendes.com/2011/04/o-impacto-da-maquina-vapor-na-revolucao.html>>. Acesso em: 18 abr. 2024.

SILVA, Daniel. Thomas Edison. **Mundo Educação**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/thomas-edison.htm>>. Acesso em: 18 abr. 2024.

SILVA, Daniel; HELERBROK, Rafael. Brasil Nikola Tesla. **Brasil Escola**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/nikola-tesla.htm>>. Acesso em: 18 abr. 2024.

GUITARRARA, Paloma. Energia Nuclear. **Brasil Escola**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/energia-nuclear.htm#:~:text=A%20fiss%C3%A3o%20nuclear%2C%20principal%20rea%C3%A7%C3%A3o,iniciou%20suas%20atividades%20em%201954>>. Acesso em: 22 abr. 2024.

GOLDEMBERG, José. Biomassa e energia. Química nova, v. 32, p. 582-587, 2009.

GRUPO QUANTA. Qual o impacto das fontes de energias não renováveis no mundo?, 4 de abril de 2022. Disponível em: <<https://grupoquanta.com.br/qual-o-impacto-das-fontes-de-energias-nao-renovaveis-no-mundo/>>. Acesso em: 22 abr. 2024.

SOLAR VOLT. Fontes renováveis: os 7 países que mais investem em energia solar. Disponível em: <<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/fontes-renovaveis-os-7-paises-que-mais-investem-em-energia-solar/>>. Acesso em: 22 abr. 2024.

Água Potável – Ranking dos 10 países com a maior quantidade. **Aguaboa**. Disponível em: <<https://aguaboa.com.br/agua-potavel-ranking/>>. Acesso em: 05 mai. 2024.

SABRAE. Novas tecnologias para a produção de energia renovável devem turbinar economias locais com a demanda de serviços em diversas fases de projetos, 21 de outubro de 2022. Disponível em: <<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/producao-de-energia-renovavel-tem-ciclo-de-custos-definidos,f042eaa98fbf3810VgnVCM100000d701210aRCRD>>. Acesso em: 6 mai, 2024.

Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH HIDRO). Principal fonte de energia de cada estado do Brasil, 3 de março de 2023. Disponível em: <<https://www.site.abrhidro.org.br/post/principal-fonte-de-energia-de-cada-estado-do-brasil>>. Acesso em: 06 mai. 2024.

Plano Decenal de Expansão de Energia 2026. **EPE - Empresa de Pesquisa Energética**, julho de 2022. Disponível em:

<<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Decenal-d-e-Expansao-de-Energia-2026>>. Acesso em: 06 mai, 2024.

Energes. Consumo de energia no Brasil. Disponível em: <<https://energes.com.br/consumo-de-energia-no-brasil/>>. Acesso em: 06 mai. 2024.

Quais os reais custos e benefícios das fontes de geração elétrica no Brasil? **Instituto Escolhas**, 2018. Disponível em: <https://www.escolhas.org/wp-content/uploads/2018/11/Quais_os_reais_custos_e_benef%C3%ADcios_das_fontes_de_gera%C3%A7%C3%A3o_el%C3%A9trica_no_brasil-SUM%C3%81RIO-EXECUTIVO.pdf>. Acesso em: 10 mai, 2024.

Fontes de energia renováveis representam cerca de 83% da matriz elétrica brasileira. **GOV**, 07 de março de 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/matriz-eletrica-brasileira-alcancou-83-porcento-de-energia-renovavel>>. Acesso em: 10 mai, 2024.

DADOS INTERATIVOS - Subsídios às fontes energéticas fósseis e renováveis (2018 - 2022) FONTE: **Metodologia Inesc**. Disponível em: <<https://inesc.org.br/dados-interativos-subsidios-as-fontes-fosseis-e-renovaveis-2018-2022/>>. Acesso em: 10 mai, 2024.

Governo almeja que o Brasil alcance o posto de produtor mais competitivo de hidrogênio no mundo até 2030. **PETRONOTÍCIAS**, 25 de agosto de 2023. Disponível em: <<https://petronoticias.com.br/governo-almeja-que-o-brasil-alcance-o-posto-de-produtor-mais-competitivo-de-hidrogenio-no-mundo-ate-2030/>>. Acesso em: 10 de maio de 2024.

MACHADO, Nayara. O plano da Austrália para o hidrogênio e as lições para o Brasil. **EPBR**, 23 de agosto de 2022. Disponível em: <<https://epbr.com.br/o-plano-da-australia-para-o-hidrogenio-e-as-licoes-para-o-brasil/>>. Acesso em: 10 de maio de 2024.

ANDRADE, Vanessa. Hidrogênio verde testa possibilidades e viabilidade econômica no Brasil. **CANAL ENERGIA**, 12 de dezembro de 2022. Disponível em: <<https://www.canalenergia.com.br/noticias/53232245/hidrogenio-verde-testa-possibilidades-e-viabilidade-economica-no-brasil>>. Acesso em: 10 de maio de 2024.

SILVA, Bruno. Hidrogênio verde e seus desafios logísticos, 15 de abril de 2024. LinkedIn. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/hidrogenio-verde-e-seus-desafios-logisticos-bruno-rodriques-silva-xlhyf>>. Acesso em: 10 maio. 2024.

Nordeste é um ponto estratégico para produção de H₂V, aponta o CCEE. **CANAL SOLAR**, 22 de fevereiro de 2023. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/nordeste-e-um-ponto-estrategico-para-producao-de-h2v-aponta-ccee/>. Acesso em: 10 de maio de 2024.

Rio Grande Do Norte Se Prepara Para O Hidrogênio Verde. **CERNE**. Disponível em: [https://cerne.org.br/rio-grande-do-norte-se-prepara-para-o-hidrogenio-verde/#:~:text=O%20Rio%20Grande%20do%20Norte,alto%2Dmar\)%2C%20especialmente](https://cerne.org.br/rio-grande-do-norte-se-prepara-para-o-hidrogenio-verde/#:~:text=O%20Rio%20Grande%20do%20Norte,alto%2Dmar)%2C%20especialmente). Acesso em: 10 de maio de 2024.

Com grande potencial em energias renováveis, o Ceará está se tornando a Casa do Hidrogênio Verde. **CEARÁ GOV**. Disponível em: [https://www.ceara.gov.br/2024/01/01/com-grande-potencial-em-energias-renovaveis-o-ceara-esta-se-tornando-a-casa-do-hidrogenio-verde/#:~:text=O%20HUB%20de%20Hidro%C3%AAnio%20Verde,Ind%C3%BAstrias%20do%20Cear%C3%A1%20\(Fie c\)](https://www.ceara.gov.br/2024/01/01/com-grande-potencial-em-energias-renovaveis-o-ceara-esta-se-tornando-a-casa-do-hidrogenio-verde/#:~:text=O%20HUB%20de%20Hidro%C3%AAnio%20Verde,Ind%C3%BAstrias%20do%20Cear%C3%A1%20(Fie c)). Acesso em: 10 de maio de 2024.