REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL: UMA ANÁLISE SOBRE A CONVERGÊNCIA ENTRE A DESCARBONIZAÇÃO ACELERADA E A DIGITALIZAÇÃO INTELIGENTE DA REDE

ELECTRIC POWER IN BRAZIL: AN ANALYSIS OF THE CONVERGENCE BETWEEN ACCELERATED DECARBONIZATION AND SMART GRID DIGITALIZATION

ENERGÍA ELÉCTRICA EN BRASIL: UN ANÁLISIS DE LA CONVERGENCIA ENTRE LA DESCARBONIZACIÓN ACELERADA Y LA DIGITALIZACIÓN DE LAS REDES INTELIGENTES

Fabricio Quadros Borges[1], Rodrigo Alves Chaves[2], Inaldo de Sousa Sampaio Filho[3], Amanda Santos de Nazaré[4]

e737420
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i3.7420

PUBLICADO: 03/2026

RESUMO

O objetivo deste estudo é o de analisar a convergência no ambiente energético entre a descarbonização acelerada e a digitalização inteligente da rede, na intenção de fornecer subsídios ao processo de tomada de decisão no setor energético brasileiro. Na metodologia, os dados foram coletados por meio de levantamento bibliográfico e documental. E a análise se utilizou da estrutura conceitual do *framework* analítico que possibilitou uma percepção estratégica da convergência entre a descarbonização acelerada e a digitalização inteligente da rede no Brasil. A investigação concluiu que os principais pontos de convergência no ambiente energético entre a descarbonização acelerada e a digitalização inteligente da rede são: a eficiência operacional, os consumidores produtores e a integração de fontes renováveis. Estes pontos de convergência devem envolver ações que promovam o desenvolvimento e a gestão de mecanismos nas áreas de eficiência energética, economia circular, armazenamento de energia, *data centers*, mercado de fontes renováveis e processos produtivos baseados em eletricidade.

PALAVRAS-CHAVE: Redes Inteligentes. Inteligência Artificial. Armazenamento de Energia.

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the convergence in the energy environment between accelerated decarbonization and smart grid digitalization, with the intention of providing input to the decision-making process in the Brazilian energy sector. In the methodology, the data were collected through bibliographic and documentary research. The analysis utilized the conceptual structure of the analytical framework, which sought to enable a strategic understanding of the convergence between accelerated decarbonization and the intelligent digitization of the network in Brazil. The investigation concluded that the main points of convergence in the energy environment between accelerated decarbonization and smart grid digitalization are: operational efficiency, producer-consumers, and the integration of renewable sources. These points of convergence should involve actions that promote the development and management of mechanisms in the areas

[1] Pós-Doutor em Gestão de Tecnologia pelo IPEN/USP. Professor Titular do Instituto Federal do Pará - IFPA.
[2] Especialista em Docência para a Educação Profissional, Científica e Tecnológica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia pelo IFPA. Professor do Quadro permanente do Instituto Federal do Pará - IFPA.
[3] Doutorando do Programa de Pós-Graduação Criatividade e Inovação em Metodologias de Ensino pela UFPA. Professor do Quadro Permanente do Instituto Federal do Pará - IFPA.
[4] Doutoranda do Programa de Pós-Graduação Criatividade e Inovação em Metodologias de Ensino pela UFPA. Analista de Área do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI/DR PA.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

of energy efficiency, circular economy, energy storage, data centers, the renewable energy market, and electricity-based production processes.

KEYWORDS: *Smart Grids. Artificial Intelligence. Energy Storage.*

RESUMEN
El objetivo de este estudio es analizar la convergencia en el entorno energético entre la descarbonización acelerada y la digitalización inteligente de la red, con el fin de aportar insumos al proceso de toma de decisiones en el sector energético brasileño. En cuanto a la metodología, los datos fueron recopilados mediante un levantamiento bibliográfico y documental, y el análisis utilizó la estructura conceptual de un marco analítico que permitió una percepción estratégica de la convergencia entre la descarbonización acelerada y la digitalización inteligente de la red en Brasil. La investigación concluyó que los principales puntos de convergencia en el entorno energético entre la descarbonización acelerada y la digitalización inteligente de la red son la eficiencia operativa, los consumidores-productores y la integración de fuentes renovables. Estos puntos de convergencia deben involucrar acciones que promuevan el desarrollo y la gestión de mecanismos en las áreas de eficiencia energética, economía circular, almacenamiento de energía, centros de datos, mercado de fuentes renovables y procesos productivos basados en la electricidad.

PALABRAS CLAVE: *Redes Inteligentes. Inteligencia Artificial. Almacenamiento de Energía.*

1. INTRODUÇÃO

O insumo energético desempenha um papel estratégico no processo de desenvolvimento econômico, social e ambiental de qualquer país. Os segmentos de saúde, educação, transportes, lazer e saneamento estão vinculados significativamente ao perfil de uso deste insumo. Nesta perspectiva, a promoção da qualidade de vida das pessoas em determinada região está diretamente relacionada ao planejamento. De acordo com a CETESB (2021), a universalização da eletricidade de modo sustentável encontra-se entre os maiores desafios globais, já que o consumo de energia responde por 73% das emissões antrópicas de gases de efeito estufa, abrangendo atividades como transporte, manufatura, geração de calor, construção e energia elétrica. No Brasil, a universalização da eletricidade também detém o desafio de substituir o uso de diesel e outros combustíveis fósseis por energia renovável, aproveitando o alto potencial brasileiro, como sistemas híbridos e biomassa.

A Cop30 (30ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima), realizada em novembro de 2025 na cidade de Belém, Estado do Pará, Brasil, constituiu-se em mais uma edição do mais importante encontro global das Nações Unidas para negociações sobre o clima, na intenção de diminuir as emissões diante do aquecimento do planeta. Este encontro ofereceu uma valiosa oportunidade para impulsionar políticas e ações alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial o ODS 7, que visa garantir acesso universal à energia acessível, confiável, sustentável e moderna (Marques; Costa; Borges, 2025).

O panorama observado, em cômputo global, indica uma transformação severa de como a energia é gerada, consumida e gerenciada pela sociedade. O planeta está passando por uma

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

transformação fundamental na maneira como monitora e gerencia a energia, e a busca por soluções mais efetivas e baseadas na sustentabilidade coloca a digitalização e a eletrificação como elementos centrais deste processo de evolução; estes pilares são complementares para alavancar uma transição que não é somente demandada, mas também inevitável (Cavalcanti, 2025).

Esta realidade revela, a partir de pesquisadores, estudantes e instituições de pesquisa e desenvolvimento de todo o mundo uma temática interessante e transformadora no campo de estudo da energia, particularmente a elétrica. Trata-se da convergência no ambiente energético entre a descarbonização acelerada e a digitalização inteligente da rede.

Esta pesquisa se justifica pela oportunidade em contribuir ao levantamento de subsídios para: a) O processo de descarbonização acelerada no ambiente energético. Segundo o Relatório da Agência Internacional de Energia (AIE), o mundo precisa de reduzir as emissões de CO2 em 45% até 2030 e alcançar a neutralidade de carbono até 2050 para limitar o aquecimento global a 1,5°C (IEA, 2025). b) o processo de digitalização inteligente da rede de energia elétrica, fundamental aos avanços no atendimento e segurança energéticos. c) O aperfeiçoamento do processo decisório no setor elétrico brasileiro.

A descarbonização acelerada está vinculada à redução ou à eliminação da emissão de dióxido de carbono (CO2) e outros gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. Já a digitalização inteligente, está ligada à utilização de tecnologias avançadas, como a inteligência artificial (AI). A convergência entre a descarbonização acelerada e a digitalização inteligente da rede no ambiente energético comporta as relações entre o perfil de energia gerada na sociedade e o novo perfil de consumo a partir da expansão da economia digital e da inteligência artificial. No Brasil, essa equação torna-se ainda mais complexa devido ao peso das desigualdades regionais e ao desmatamento, que amplifica os desafios ambientais (Borges, 2021).

Neste sentido, esta investigação pretende questionar: quais os principais pontos de convergência no ambiente energético entre a descarbonização acelerada e a digitalização inteligente da rede? O objetivo deste estudo é o de analisar a convergência entre o processo de descarbonização acelerado e o processo de digitalização inteligente da rede, na intenção de fornecer subsídios ao processo de tomada de decisão no setor energético brasileiro. O estudo, além desta introdução, está dividido em quatro partes a saber: referencial teórico, Metodologia, Resultados e Discussões e Considerações Finais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A estrutura teórica de discussão desta investigação está dividida em duas partes. Na primeira, aborda-se o processo de descarbonização acelerado e os seus desafios em sua

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

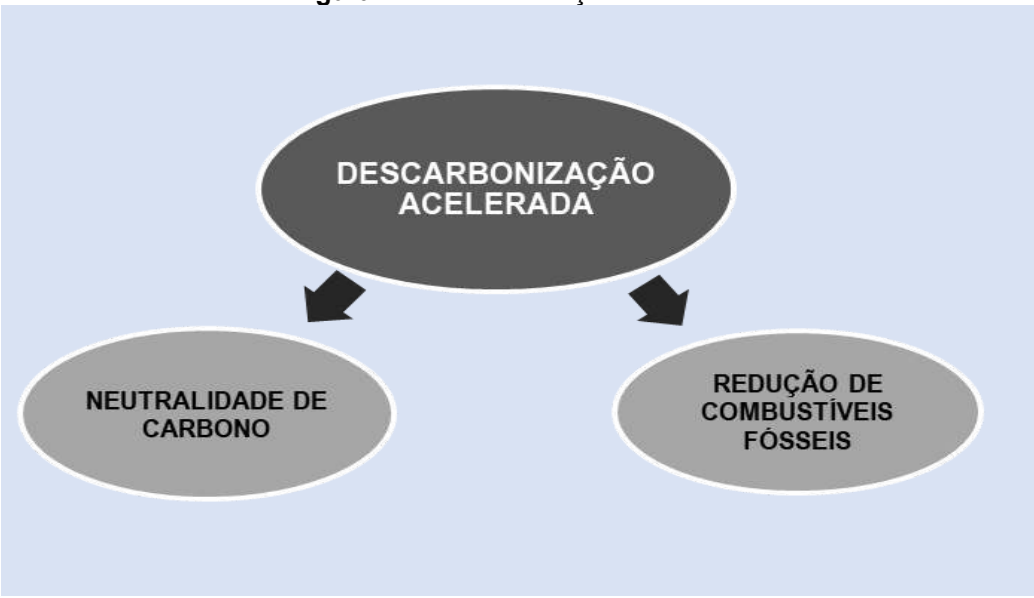
REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

definição teórica. Na segunda parte, trata-se a digitalização inteligente da rede, com destaque para a inteligência artificial e o armazenamento de energia.

A descarbonização é o processo de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), dos quais o dióxido de carbono (CO2) é o mais importante, mas não o único, que são os principais impulsionadores do aquecimento global. Descarbonizar visa alcançar a neutralidade de carbono, isto é, equilibrar razoavelmente as emissões de gases do efeito estufa liberadas na atmosfera, por meio da remoção do carbono ou pela sua captura, armazenamento e reutilização, incluindo a gestão do carbono proveniente de combustíveis fósseis (Rocha; Silva, 2025). A descarbonização não passa necessariamente pela eliminação total dos combustíveis fósseis, especialmente no curto prazo, em função das limitações tecnológicas, infraestruturais, sociais e políticas desse tipo de movimento (Rocha; Silva, 2025).

A descarbonização acelerada está apoiada na neutralidade de carbono e na redução de combustíveis fósseis (Figura 1). Na neutralidade de carbono na medida em que esta representa o equilíbrio entre a emissão de gases de efeito estufa produzidos por atividades humanas e a quantidade removida da atmosfera, resultando em um impacto líquido zero. O governo brasileiro, inclusive, se comprometeu em obter a neutralidade de carbono até 2050, na intenção de reduzir 37% das emissões até 2025 e 43% até 2030 (CEBRI, 2023). Na redução de combustíveis fósseis uma vez que representa o combate ao aquecimento global e a redução da poluição do ar. O governo do Brasil, no tocante a esta questão, deu início a elaboração de um plano nacional para diminuir a dependência de combustíveis fósseis com foco na transição energética (AGÊNCIA PÚBLICA, 2025).

Figura 1. Descarbonização Acelerada



Fonte: Elaboração própria.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

No debate sobre clima e emissões, é comum confundir descarbonização com transição energética e até mesmo com a desfossilização, que são coisas distintas, embora relacionadas. A transição energética refere-se à mudança estrutural e de longo prazo no sistema de produção, distribuição e consumo de energia e, por isso, pode ser entendida como uma mudança no modo como a energia é usada em um determinado sistema. Essa mudança não se limita apenas ao tipo de combustível empregado, mas também abrange aspectos como a forma de acesso à energia, sua origem, distribuição e confiabilidade e até mesmo o uso final, influenciando a orientação geral de todo o sistema energético (Rocha; Silva, 2025). Essa transformação pode ocorrer em qualquer escala, desde sistemas locais até o global, e impacta tanto as práticas e as preferências da sociedade quanto a infraestrutura, políticas e regulamentações.

Do ponto de vista histórico, o planeta já passou por inúmeras transições energéticas. Citam-se da lenha ao carvão, do carvão ao petróleo. Nos anos de 2020, pode-se dizer que é impulsionada sobretudo pela necessidade urgente de combater as mudanças climáticas e a degradação ambiental, além de buscar maior segurança energética e equidade (Araújo, 2014). Nesta perspectiva, o processo de descarbonização precisa de uma aceleração na medida em que o ritmo de emissões é insustentável. Os benefícios desta descarbonização passam pela melhoria da saúde, por meio da diminuição da poluição do ar e redução de doenças respiratórias, e pela sustentabilidade econômica, por meio da diminuição dos custos a longo prazo e do atendimento das necessidades de investidores e consumidores por produtos verdes.

Quanto a digitalização inteligente da rede constitui-se como a modernização das infraestruturas de distribuição de eletricidade por meio da utilização de tecnologias digitais, sensores, automação e sistemas de comunicação bidirecional. Em outras palavras, no lugar de um fluxo de geração da usina para o consumidor (unidirecional), a rede digitalizada permite que informações e energia fluam em ambas as direções, garantindo um sistema mais seguro, eficiente e sustentável, denominado bidirecional. Nas redes elétricas, a digitalização é essencial para superar questões estruturais, como a intermitência das fontes renováveis (Cavalcanti, 2025).

As redes inteligentes, no contexto da transformação digital do setor elétrico, representam uma inflexão paradigmática na forma como a energia elétrica é produzida, transportada, distribuída e consumida (Paixão, 2026). A literatura especializada converge ao reconhecer que a digitalização dos sistemas elétricos não se restringe à incorporação de dispositivos tecnológicos, mas implica uma reorganização estrutural dos processos operacionais, da governança institucional e das relações entre os diversos agentes do setor energético (Paixão, 2026). Neste âmbito, as redes inteligentes configuram-se como sistemas sociotécnicos complexos, nos quais infraestrutura física e camadas digitais operam de forma integrada e interdependente (Paixão; Abaide, 2025).

As redes inteligentes são definidas como sistemas elétricos capazes de utilizar tecnologias digitais, comunicação bidirecional e automação avançada para monitorar, prever e otimizar o

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

desempenho do sistema em tempo real (Paixão, 2026). As *smart grids* (redes elétricas inteligentes) integram geração, transmissão, distribuição e consumo por meio de tecnologias de informação e comunicação, fomentando elevada eficiência, confiabilidade e flexibilidade operacional (Fang *et al*., 2018). Essa definição evidencia que a transformação digital não é acessória, mas constitutiva do funcionamento das redes inteligentes, pois é a partir da digitalização que se viabiliza a gestão dinâmica e adaptativa dos sistemas elétricos contemporâneos (Paixão, 2026). A digitalização inteligente da rede está apoiada na inteligência artificial e no armazenamento de energia (Figura 2). Na inteligência artificial na medida em que esta, transforma redes tradicionais em redes inteligentes, o que possibilita gerenciar estrategicamente a distribuição de eletricidade em tempo real. A digitalização e a inteligência artificial se consolidam como pilares para sistemas energéticos altamente renováveis (IRENA, 2025). No Brasil, inclusive, a digitalização inteligente da rede elétrica e a inteligência artificial estão vivenciando um período de consolidação no Brasil entre 2025 e 2026 (ECHOENERGIA, 2025). E no armazenamento de energia, uma vez que este, se utiliza de tecnologias para potencializar o processo de carga e descarga de energia, o que diminui custos.

Figura 2. Digitalização Inteligente da Rede



Fonte: Elaboração própria.

O termo inteligência artificial é uma subárea da ciência da computação e é utilizada para designar o conjunto de técnicas, dispositivos e algoritmos computacionais, além de métodos estatísticos e matemáticos capazes de reproduzir algumas das capacidades cognitivas humanas; em outras palavras, é a ciência e a engenharia de fazer máquinas inteligentes, especialmente

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

programas de computador inteligentes (Toffoli, 2018; McCarthy, 2018). A AI compreende uma área que tem relação com a capacidade de os computadores realizarem tarefas, de modo a contribuir para a construção de entidades inteligentes por meio de algoritmos computacionais (Norvig; Russell, 2021).

Neste sentido, a I.A. consistiria na reprodução artificial da capacidade de obter e aplicar diferentes habilidades e conhecimentos para resolver determinado problema, resolvendo-o, raciocinando e aprendendo com as situações (Hartmann; Silva, 2019). Em outras palavras, o I.A. é um conjunto de instruções e regras que formam o algoritmo, utilizados em série, para processar informações e resolver problemas, com método e velocidade próprios (Corvalán, 2018).

A I.A. já é uma realidade e uma grande aliada do planejamento público, graças à agilidade e ganho de tempo proporcionados pela verificação e cruzamento de dados, onde cria possibilidades para além da capacidade humana, oferecendo aos órgãos públicos elementos que poderiam passar despercebidos nas análises comumente feitas por servidores públicos (Brega, 2012; Desordi; Bona, 2020). Todavia, a proliferação de data centers que comportam servidores de IA produz lixo eletrônico e são grandes consumidores de água e energia. Os data centers também dependem de minerais essenciais e elementos raros, que muitas vezes são extraídos de forma insustentável (ONU, 2025).

O armazenamento de energia, por seu turno, é uma forma de capturar determinada quantidade de energia em um dado momento na qual ela está disponível para utilização posterior, podendo ser no momento de sua geração ou não; desta forma, é possível manter o equilíbrio entre a demanda e a produção (Martins, 2023). Este dispositivo que captura e mantém a energia é denominado acumulador. A energia que é armazenada pode ser proveniente das mais variadas formas, como: radiação, química, potencial e cinética. Basicamente o armazenamento consiste na conversão de formas de energia difíceis de serem armazenadas, como por exemplo a energia térmica, que pode ser convertida em energia elétrica, a qual possui uma diversidade maior de formas de armazenamento, fazendo com que a utilização posterior seja a mais conveniente e econômica possível (Martins, 2023). As principais tecnologias e métodos de armazenamento de energia são: baterias eletroquímicas, armazenamento hidrelétrico bombeado, hidrogênio, armazenamento térmico e volantes de inércia.

3. MÉTODOS

A investigação classifica-se quanto à abordagem do problema como pesquisa qualitativa e quanto à natureza, como estudo teórico. É qualitativo, pois visa proporcionar uma melhor visão e compreensão a respeito da convergência entre o ambiente de descarbonização acelerada e o de digitalização inteligente da rede, na intenção de fornecer subsídios ao processo de tomada de decisão no setor energético brasileiro. O estudo também possui perfil teórico na medida em que

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

analisa a dinâmica de funcionamento que envolve este processo de convergência a partir de uma base teórica. A pesquisa teórica não pode ser reduzida a apenas uma revisão literária para ser editada em resenhas rápidas repetitivas; pelo contrário, exige a problematização constante das ideias e dos raciocínios as questões e os aspectos do problema (Maldonado, 2011).

A metodologia foi dividida em três etapas: coleta, tratamento e análise dos dados. O processo de coleta de dados possui natureza descritiva a partir de dados secundários (Figura 3).

Figura 3. Estratégia metodológica



Fonte: Elaboração própria.

Este processo tomou duas direções: descarbonização acelerada e digitalização inteligente da rede. A coleta foi realizada por meio de levantamento bibliográfico, onde foram consultados livros e periódicos que abordam o tema central do estudo e considerou como recorte temporal o período entre 2015 e 2025. A pesquisa bibliográfica é importante para fundamentar teoricamente um trabalho, proporcionando referências e fundamentações que sustentam as ideias e argumentos apresentados (Guerra, 2023). E por meio de levantamento documental, onde relatórios, pareceres e documentos junto a órgãos do setor elétrico brasileiro foram verificados. A pesquisa documental é um método utilizado por pesquisadores de diversas áreas do conhecimento para coletar e analisar informações a partir de fontes valiosas para a produção do

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

conhecimento (Guerra, 2024). Os critérios de seleção das fontes para a coleta foram baseados na qualidade para a obtenção de dados confiáveis, de modo a observar: o caráter recente nos aspectos pertinentes a tecnologia, credibilidade de autoria da obra, contribuições sujeitas a revisão de pares, exatidão no tocante às informações e o foco tratado neste estudo.

O processo de tratamento de dados considerou três ambientes a saber: a classificação das informações, a checagem de aspectos técnicos e por fim, a formulação de uma estrutura de organização que possibilite a observação do ambiente de convergência entre a descarbonização acelerada e o de digitalização inteligente da rede. A análise dos dados, por sua vez, teve como objetivo examinar os meandros da convergência entre o ambiente de descarbonização acelerada e o de digitalização inteligente da rede, a partir da realidade energética global, de modo a proporcionar uma estrutura de reflexões que levante subsídios ao processo decisório no setor elétrico brasileiro. Esta análise foi realizada a partir da estrutura conceitual denominada *framework* analítico. Esta estrutura se apoia em um roteiro de trabalho utilizado para organizar e analisar dados de um estudo, de maneira a apoiar a tomada de decisão estratégica (Diniz, 2025).

Na percepção desta metodologia, a convergência compreende o ambiente sinérgico em comum entre os esforços para a descarbonização acelerada e a chamada digitalização inteligente da rede, sendo esta última caracterizada neste estudo, pelos aspectos relacionados a inteligência artificial e ao armazenamento de energia.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os resultados da investigação e discute-os diante do questionamento central deste estudo que investiga os pontos de convergência, no ambiente energético, entre a descarbonização acelerada e a digitalização inteligente da rede. A intenção é a de levantar subsídios ao processo de tomada de decisão no setor elétrico brasileiro. Em um primeiro momento abordam-se as ações pertinentes a descarbonização acelerada; em seguida, tratam-se as ações referentes à digitalização inteligente da rede.

Quanto às ações para a descarbonização acelerada no Brasil, foram classificadas em cinco áreas a saber: Eficiência, Carbono, Energias renováveis, Eletrificação e Economia circular (Quadro 1).

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Quadro 1. Ações no âmbito da Descarbonização Acelerada

ÁREAS DE AÇÃO	DESCRIÇÃO
EFICIÊNCIA	Inserção de processos de uso mais racional e econômico de consumo de energia, por meio de tecnologias limpas no segmento industrial e no ambiente logístico, na intenção de reduzir ou impedir desperdícios, aplicando tecnologias mais limpas na indústria e na logística.
CARBONO	Desenvolvimento de tecnologias capazes de capturar e armazenar o carbono junto às fontes industriais, de modo a impedir que ele alcance à atmosfera do planeta.
ENERGIAS RENOVÁVEIS	Mecanismos de ampliação dos investimentos em energias sustentáveis como o hidrogênio verde, a fotovoltaica, a eólica e os biocombustíveis em geral.
ELETRIFICAÇÃO	Desenvolvimento de estruturas tecnológicas capazes de favorecer a gradual ampliação de processos de produção baseados em eletricidade em detrimento aos processos industriais à combustão.
ECONOMIA CIRCULAR	Implementação de processos capazes de possibilitar uma reutilização de resíduos e diminuir consideravelmente a produção de lixo.

Fonte: Elaboração própria.

Na área denominada Eficiência energética está inserido o conjunto de esforços de uso inteligente de energia de maneira a promover os mesmos resultados técnicos com menor consumo do insumo energético. Trata-se da inserção de processos de uso mais racional e econômico de consumo de energia, por meio de tecnologias limpas na intenção de eliminar ou pelo menos reduzir o desperdício.

A área chamada Carbono, neste ambiente de estudo, foi identificada como qualquer tecnologia capaz de capturar e armazenar o carbono, evitando que este elemento possa chegar até a atmosfera da terra. O carbono é um elemento químico indispensável para a vida e estrutura da matéria orgânica, compondo DNA, proteínas e carboidratos. A ação de descarbonização acelerada equivale a procurar equilibrar as emissões de gases do efeito estufa liberadas na atmosfera (Rocha; Silva, 2025).

As Energias renováveis representam outra área tratada neste estudo. Nela estão alocados todos os mecanismos de ampliação do uso de energia sustentáveis.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Energias renováveis constituem-se em fontes inesgotáveis de energia contidas na natureza que se regeneram. O sol, os ventos, a biomassa e a água são exemplos. Elas emitem muito menos gases de efeito estufa que combustíveis fósseis, sendo essenciais para a transição energética e sustentabilidade. As energias renováveis ganham importância gradual pela necessidade urgente de combater as mudanças climáticas e a degradação ambiental, além de buscar maior segurança energética e equidade (Araújo, 2014).

Na área denominada Eletrificação está inserida a iniciativa de promover processos produtivos alimentados por energia elétrica que possam gradualmente substituir aqueles alicerçados por combustão. Em outras palavras o processo de eletrificação passa a ser objeto de modificações tecnológicas significativas, onde a conversão de um dispositivo, sistema ou processo dependente de fontes de energia não elétricas (combustíveis fósseis, por exemplo), se transforma em um sistema demandante por eletricidade.

A área denominada Economia circular é a última área identificada neste estudo pertinente ao ambiente de ações propostas para a Descarbonização Acelerada. A Economia circular é um modelo econômico alicerçado em princípios sustentáveis que objetiva extinguir gases poluentes, desperdícios e o consumo indiscriminado. A lógica é a manutenção de componentes e materiais em um espaço de tempo mais alongado, promovendo um maior tempo de circulação destes. Assim, a Economia circular possibilita a reutilização de resíduos e a redução da produção de lixo.

Em suma, a descarbonização acelerada compreende um processo capaz de promover ganhos no padrão de vida de populações, por meio da redução da poluição e de custos econômicos. Ações promotoras de desenvolvimento em cada uma das áreas descritas acima, tendem a representar um esforço coordenado e consistente em direção a uma aceleração do processo de descarbonização. Estas ações tendem a adquirir um caráter mais estratégico e consistente se a iniciativa governamental estiver associada a iniciativa privada.

Em relação às ações propostas para a digitalização inteligente da rede no Brasil, este estudo apontou também cinco áreas a saber: redes inteligentes, mercado, armazenamento, eletrificação e data centers (Quadro 2).

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Quadro 2. Ações no âmbito da Digitalização Inteligente da Rede

ÁREAS DE AÇÃO	DESCRIÇÃO
REDES INTELIGENTES	Desenvolvimento de redes inteligentes capazes de obter otimização do fluxo energético, diminuição de falhas em rede e previsão de demandas. Nesta perspectiva, a inteligência artificial assume papel estratégico no monitoramento de redes complexas e no aumento de eficiência por meio da inserção de fontes renováveis como a solar e a eólica.
MERCADO	Promover a disseminação de novas fontes renováveis, por meio de programas que envolvam a iniciativa privada, e o mercado livre de baixa tensão, junto a pequenos empreendimentos e consumidores domiciliares.
ARMAZENAMENTO	Articulação de mecanismos capazes de garantir a estabilidade do sistema de energia. Estes mecanismos precisam estar baseados na associação de sistemas de armazenamento e o uso de energias renováveis. Neste sentido, o armazenamento da energia solar e eólica, por meio de baterias, possui relação direta com esta estabilidade do sistema.
ELETRIFICAÇÃO	Desenvolvimento de estratégias de gerenciamento inteligente da energia limpa e armazenamento deste insumo para atender demandas. Estas demandas podem ser industriais e digitais (sistemas de armazenamento e infraestrutura de rede).
DATA CENTERS	Formulação de mecanismos que promovam o atendimento das demandas decorrentes de Data Centers. Os data centers compreendem centros de processamento de dados cada vez mais carentes de eletricidade em decorrência da expansão da economia digital (atividades econômicas vinculadas a tecnologias digitais, como a internet) e da inteligência artificial. Nesta perspectiva, a obtenção do insumo energético representa uma condicionante ao progresso de tecnologias.

Fonte: Elaboração própria.

A área denominada Redes inteligentes são sistemas interligados que transportam o insumo elétrico da geração ao consumidor a partir de tecnologias digitais, sensores e *software* para favorecer a adequação da oferta e a procura por energia elétrica em tempo real, de modo a diminuir custos e manter uma rede confiável e estável. Essa definição evidencia que a transformação digital não é acessória, mas constitutiva do funcionamento das redes inteligentes,

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

pois é a partir da digitalização que se possibilita o monitoramento dinâmico e adaptativo dos sistemas elétricos contemporâneos (Paixão, 2026).

O Mercado, enquanto área de ação nesta investigação, constitui-se como um espaço onde os consumidores podem optar por um fornecedor, considerando prazos, valor do insumo e viabilidade de uso. Assim, espera-se que a área Mercado, no ambiente das ações propostas para a Digitalização Inteligente da Rede, procure promover a disseminação de novas fontes renováveis, por meio de programas que envolvam a iniciativa privada, e o mercado livre de baixa tensão, junto a pequenos empreendimentos e consumidores residenciais.

A área de Armazenamento de energia trata da captura do insumo energético produzido para a sua utilização no futuro, de modo a reduzir custos e garantir o fornecimento contínuo. As fontes renováveis representam os principais objetos deste armazenamento, especialmente a eólica e a fotovoltaica. Em outras palavras, o armazenamento de energia representa a conversão de formas de energia difíceis de serem armazenadas, que pode ser convertida em eletricidade, a qual possui uma diversidade maior de formas de armazenamento, fazendo com que a utilização no futuro seja a mais acessível e economicamente viável (Martins, 2023).

Na área de Eletrificação está inserida a capacidade de atendimento das demandas energéticas a partir de energia limpa e armazenada de forma eficiente. Este desafio deve contar com sistemas de armazenamento eficientes e uma infraestrutura de rede segura. A eletrificação possui um papel fundamental no processo de transição energética, elevando a eficiência e diminuindo emissões, sobretudo nas indústrias.

No tocante a área de Data centers, indicada por este estudo, está inserida uma instalação física centralizada que comporta servidores, equipamentos de rede e armazenamento e que direciona altas quantidades de dados. A área de data centers está relacionada à inteligência artificial na condição de vetor tecnológico. A inteligência artificial compreende um conjunto de instruções e regras que formam o algoritmo, utilizados em série, para processar informações e resolver problemas, com método e velocidade próprios (Corvalán, 2018). Nesta perspectiva, o ambiente energético brasileiro passa, a cada dia, a vivenciar essa realidade tecnológica. Formulação de mecanismos que promovam o atendimento das demandas decorrentes de data centers passam pela contribuição da economia digital (atividades econômicas vinculados a tecnologias digitais, como a internet) e da inteligência artificial.

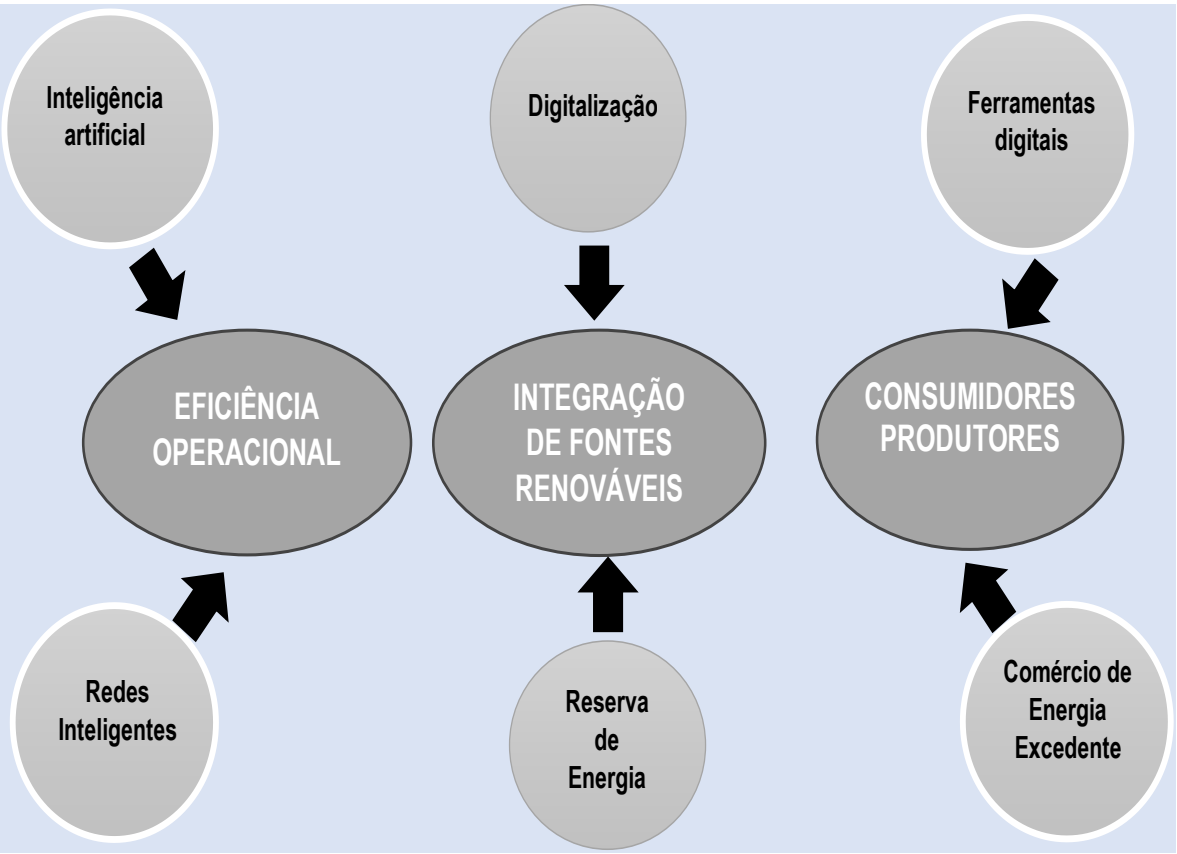
Em suma, as ações propostas para a digitalização inteligente da rede representam um processo de aperfeiçoamento das infraestruturas de distribuição do insumo energético, a partir do uso de um ambiente informacional, onde existe fluidez bidirecional apoiada pela digitalização e sistemas de comunicação. Nas redes elétricas, a chamada digitalização é fundamental para resolver problemas estruturais, como a intermitência das fontes renováveis (Cavalcanti, 2025).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

A convergência no ambiente energético entre a descarbonização acelerada e a digitalização inteligente da rede é o alicerce central da transição energética. Os principais pontos desta convergência são: eficiência operacional, consumidores produtores e integração de fontes renováveis (Figura 4). A identificação destes pontos de convergência e sua construção analítica se tornou possível pela conduta metodológica de organizar os dados e informações coletadas a partir de uma estrutura de confluência, isto é, uma constituição que proporcionou um cruzamento de aspectos pertinentes a descarbonização acelerada e a digitalização inteligente da rede. Nesta perspectiva, os pontos convergência direta e indireta foram representados pela eficiência operacional, consumidores produtores e integração de fontes renováveis.

Figura 4. Pontos de Convergência entre a Descarbonização acelerada e a Digitalização inteligente da rede



Fonte: Elaboração própria.

A eficiência operacional, os consumidores produtores e a integração de fontes renováveis, enquanto pontos de convergência, reúnem direta e indiretamente as áreas pertinentes à descarbonização acelerada e as áreas pertinentes à digitalização inteligente da rede. Estes pontos ou focos de convergência representam uma espécie de trilogia de vetores estratégicos para a

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

transformação do ambiente energético de acordo com as demandas crescentes e com o perfil competitivo de mercado.

A eficiência operacional, apoiada pela inteligência artificial e pelas redes inteligentes, é capaz de potencializar os resultados da gestão de energia na medida em que reduz as perdas e mostra onde estão os empecilhos mais severos. Os benefícios deste ponto de convergência no ambiente energético residem na redução de custos, redução da pegada de carbono e no aumento de produtividade.

A integração de fontes renováveis no Brasil, como a eólica e a fotovoltaica, a partir da digitalização e da reserva de energia possibilita o monitoramento de interrupções temporárias destas fontes, o que equilibra a oferta e a demanda de energia elétrica garantindo a estabilidade da rede. Na digitalização, os processos analógicos e objetos físicos são transformados em elementos digitais, o que dinamiza a dinâmica nos sistemas elétricos. Os benefícios deste ponto de convergência no ambiente energético estão na redução de poluentes, no aumento da segurança energética e no progresso econômico.

E por fim, os consumidores produtores, que contam com ferramentas digitais e mensuradores que possibilitam a produção e a possibilidade de comercialização dos excedentes de insumo energético. Este panorama fomenta uma espécie de ambiente descentralizado e com menor dependência de combustíveis poluentes. Os benefícios deste ponto de convergência no ambiente energético residem no aumento de autonomia, no caráter sustentável da iniciativa e na redução de custos.

A descarbonização acelerada depende da digitalização inteligente das redes. Todavia, a digitalização exige atenção ao impacto ambiental que promove na medida em que os data centers e o suporte para a AI se utilizam de energia e água. A proliferação de data centers que comportam servidores de IA produz lixo eletrônico e são grandes consumidores de água e energia. Os data centers também dependem de minerais essenciais e elementos raros, que muitas vezes são extraídos de forma insustentável (ONU, 2025). Neste sentido, é importante observar criteriosamente o que realmente contribui para a eficiência energética mundial e como se deve dispor estrategicamente dos benefícios da tecnologia em favor do ambiente energético.

5. CONSIDERAÇÕES

O mundo apresenta um acelerado e importante processo de transformação no modo como se gerencia a energia. O debate no campo de iniciativas mais consistentes e apoiadas na sustentabilidade coloca a convergência, no ambiente energético, entre a descarbonização acelerada e a digitalização inteligente da rede como a temática de maior representatividade no cenário global.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Nesta perspectiva, o estudo concluiu que os principais pontos de convergência no ambiente energético entre a descarbonização acelerada e a digitalização inteligente da rede são: Eficiência operacional, Consumidores produtores e Integração de fontes renováveis.

Estes pontos deverão estar alicerçados pelo desenvolvimento e gestão de mecanismos nas áreas de eficiência energética, eletrificação, redes inteligentes, inteligência artificial, economia circular, armazenamento de energia, data centers, mercado de fontes renováveis, carbono e processos produtivos baseados em eletricidade.

No Brasil, o ambiente de convergência entre a descarbonização e digitalização inteligente está modificando a rede elétrica do país. O modelo centralizado passa a ceder lugar para uma rede descentralizada e alicerçada em princípios sustentáveis de eficiência, onde o consumidor do insumo energético assume papel central.

Novos estudos devem estar direcionados ao entendimento dos efeitos sinérgicos decorrentes desta convergência no ambiente energético na intenção de melhor aproveitar estrategicamente os intercâmbios e informações e orientadoras do processo decisório. As limitações desta investigação residem na natureza teórica desta investigação, que não pode avançar sem uma base de dados empíricos que possa consolidar o entendimento dos meandros desta dinâmica de funcionamento do setor energético brasileiro.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA PÚBLICA. Lula encomenda proposta para reduzir dependência de combustíveis fósseis no Brasil. **AGÊNCIA PÚBLICA**, 8 dez. 2025. Disponível em: https://apublica.org/2025/12/lula-encomenda-plano-para-reduzir-uso-de-combustiveis-fosseis/#:~:text=Lula%20encomenda. Acesso: 26 jan. 2026.

ARAÚJO, K. The emerging field of energy transitions: Progress, challenges, and opportunities. **Energy Research & Social Science**, *[S. l.]* p. 112-121, 2014.

BORGES, F. Q. Gestão pública de energia elétrica e desigualdade social: um estudo teórico sobre suas conexões. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, *[S. l.],* v. 1, p. 67-76, 2021.

BREGA, J. F. F. **Governo eletrônico e direito administrativo**. 2012. 336 f. Tese (Doutorado em Direito do Estado) - Faculdade de Direito, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/2/2134/tde-06062013-154559/publico/TESE_FINAL_Jose_Fernando_Ferreira_Brega. Acesso em: 12 dez. 2025.

CAVALCANTI, P. **Como a digitalização pode acelerar a descarbonização em grandes infraestruturas elétricas**. [S. l.]: Industria 40, 2025. Disponível em: https://www.industria40.ind.br/artigo/26217comodigitalizacaopodeacelerardescarbonizacao-grandes-infraestruturas-eletricas. Acesso em: 14 fev. 2026.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

CENTRO BRASILEIRO DE RELAÇÕES INTERNACIONAIS (CEBRI). **Relatório de Neutralidade de carbono até 2050:** Cenários para uma transição eficiente no Brasil. Rio de Janeiro: CEBRI, 2023.

CORVALÁN, J. G. Digital and intelligent public administration: transformations in the era of artificial intelligence. **A&C Revista de Direito Administrativo e Constitucional**, Belo Horizonte, ano 18, n. 72, p. 81-82, jan./mar, 2018.

DESORDI, D.; BONA, C. D. A inteligência artificial e a eficiência na administração pública. **Revista de Direito**, Viçosa, v. 12, n. 2, 2020.

DINIZ E. **Planejamento para Analytics**: guia de aplicação do framework. [S. l]: Eleonora Diniz, 2025. Disponível: https://www.eleonoradiniz.com.br/materiais-e-publicacoes/downloads-e-ebooks/e-book-planejamento-para-analytics/#contato. Acesso em: 26 fev. 2026.

ECHOENERGIA. **Tendências do setor de energia em 2026**: o que vai impulsionar a transição e a inovação no Brasil. 1 dez. 2025. Disponível em: https://echoenergia.com.br/blog/tendencias-setor-energia-2026. Acesso em: 25 jan. 2025.

FANG, Xi et al. Smart grid - the new and improved power grid: a survey. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 14, n. 4, p. 944–980, 2018.

GUERRA, A. de L. Metodologia da pesquisa científica e acadêmica. **Revista interdisciplinar de ensino e educação**. *[S. l.],* v. 1, n. 2, p. 149-159, 2023.

GUERRA, Avaetê de Lunetta e Rodrigues. Metodologias e classificação das pesquisas científicas. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 5, n. 8, p. e585584, 2024. Disponível em: https://recima21.com.br/recima21/article/view/5584. Acesso em: 10 fev. 2026.

HARTMANN, F. P.; SILVA, R. Z. M. da. **Inteligência artificial e direito**. Curitiba: Alteridade, 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook 2025**. Paris: IEA, 2025. Disponível em: https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025. Acesso em: 26 fev. 2026.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). Renewables and digitalization for a sustainable energy future. *In:* **Semana de inovação 2025**. 13 de junho de 2025. Disponível em: https://www.irena.org/Events/2025/Jun/IRENA-Innovation-Week-2025. Acesso em: 25 fev. 2026.

MALDONADO, A. E. Pesquisa em comunicação: trilhas históricas, contextualização, pesquisa empírica e pesquisa teórica. *In: Maldonado, A. E.* **Metodologias de Pesquisa em Comunicação**. Porto Alegre: Sulina, 2011, p. 279-303.

MARQUES, B. L. da S.; COSTA, M. G.; BORGES, F. Q. Gestão pública de energia elétrica no Pará: uma análise da energia a partir dos objetivos do desenvolvimento sustentável das nações unidas. **Revista Científica Multidisciplinar**, v. 6, n. 3, p.e636340, 2025. doi: 10.47820/recima21.v6i3.6340. Disponível em: https://recima21.com.br/recima21/article/view/6340. Acesso em: 12 fev. 2026.

MARTINS, M. A. I. **Sistemas de armazenamento de energia**. São Paulo: Profissionais do Futuro, 2023.

MCCARTHY, J. **What is artificial intelligence?** Stanford, CA: Stanford University, 2018. Disponível em: http://jmc.stanford.edu/articles/whatisai/whatisai.pdf. Acesso em: 28 dez. 2025.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

NORVIG, P.; RUSSELL, S. J. **Artificial Intelligence**: a modern approach. United Kingdom: Pearson, 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Programa para o Meio Ambiente**. Reportagem. Meio Ambiente em Estudo. 13 nov 2025. Disponível em: https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/ia-gera-um-problema-ambiental-veja-o-que-o-mundo-podefazer#:~:text=A%20prolifera%C3%A7%C3%A3o%20de%20data%20centers,s%C3%A3o%20extra%C3%AD. Acesso em: 11 fev. 2026.

PAIXÃO, J. L.; ABAIDE, A. R. Redes elétricas inteligentes & smart grids. *In:* **Caminhos da Pesquisa Multidisciplinar**. Curitiba: Aurum Editora Ltda, 2025a. p. 25-35.

PAIXÃO, Joelson. Transformação digital no setor elétrico: o papel central das redes inteligentes. **Revista Tópicos**, *[S. l.],* v. 4, n. 29, 2026.

ROCHA, F.; SILVA, B. R. **Descarbonização na indústria brasileira**: os desafios e as janelas de oportunidade de uma política industrial para a descarbonização. Rio de Janeiro: UFRJ, 2025.

TOFFOLI, D.; FERNANDES, R. V. de C.; CARVALHO, A. G. P. de (Coord.). **Tecnologia jurídica & direito digital:** II Congresso Internacional de Direito, Governo e Tecnologia. Belo Horizonte: Fórum, 2018.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.