

ENERGIA ELÉTRICA E TRANSFORMAÇÃO TECNOLÓGICA: DIGITALIZAÇÃO, AUTOMAÇÃO E INOVAÇÃO NOS SISTEMAS ELÉTRICOS CONTEMPORÂNEOS

DOI: 10.5281/zenodo.18561475

Joelson Lopes da Paixão¹

RESUMO

A relação entre energia elétrica e transformação tecnológica configura-se como um dos pilares centrais da reestruturação produtiva e social contemporânea, em razão do papel estratégico da eletricidade na digitalização da economia, na automação industrial e na consolidação de novos paradigmas tecnológicos. O problema que orienta este estudo reside na assimetria entre o ritmo acelerado da transformação tecnológica e a capacidade de adaptação dos sistemas elétricos tradicionais, ainda marcados por limitações estruturais, regulatórias e operacionais. O objetivo geral consiste em analisar criticamente a relação entre energia elétrica e transformação tecnológica, considerando os impactos da digitalização, da automação e da inovação tecnológica sobre a geração, a distribuição e o consumo de energia elétrica. Metodologicamente, adota-se uma abordagem qualitativa, de natureza bibliográfica e documental, com análise crítica de produções científicas, além de relatórios institucionais e marcos regulatórios

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

do setor energético. Os resultados indicam que a transformação tecnológica amplia a eficiência e a flexibilidade dos sistemas elétricos, mas impõe desafios relacionados à infraestrutura, à segurança cibernética, à regulação e à qualificação profissional. Conclui-se que a consolidação de sistemas elétricos compatíveis com a transformação tecnológica exige articulação entre inovação, planejamento energético e políticas públicas consistentes, capazes de assegurar confiabilidade, eficiência e inclusão no acesso à energia elétrica.

Palavras-chave: Energia elétrica. Transformação tecnológica. Digitalização. Redes inteligentes. Inovação tecnológica. Automação.

ABSTRACT

The relationship between electric energy and technological transformation is configured as one of the central pillars of contemporary productive and social restructuring, due to the strategic role of electricity in the digitalization of the economy, industrial automation, and the consolidation of new technological paradigms. The problem guiding this study lies in the asymmetry between the accelerated pace of technological transformation and the adaptive capacity of traditional electrical systems, still marked by structural, regulatory, and operational limitations. The general objective is to critically analyze the relationship between electric energy and technological transformation, considering the impacts of digitalization, automation, and technological innovation on the generation, distribution, and consumption of electric energy. Methodologically, a qualitative approach is adopted, of a bibliographic and documentary nature, with critical analysis of scientific productions published, in addition to institutional reports and regulatory

frameworks of the energy sector. The results indicate that technological transformation expands the efficiency and flexibility of electrical systems, but imposes challenges related to infrastructure, cybersecurity, regulation, and professional qualification. It is concluded that the consolidation of electrical systems compatible with technological transformation requires articulation between innovation, energy planning, and consistent public policies capable of ensuring reliability, efficiency, and inclusion in access to electric energy.

Keywords: Electric energy. Technological transformation. Digitalization. Smart grids. Technological innovation. Automation.

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica ocupa papel estruturante na dinâmica da transformação tecnológica que caracteriza a sociedade contemporânea. Processos como a digitalização da economia, a automação industrial, a expansão das tecnologias da informação e comunicação e o desenvolvimento de sistemas inteligentes dependem diretamente de sistemas elétricos confiáveis, eficientes e capazes de responder a demandas cada vez mais complexas. Nesse contexto, a relação entre energia elétrica e transformação tecnológica revela-se indissociável, uma vez que a eletricidade não apenas sustenta o funcionamento das tecnologias emergentes, mas também é profundamente impactada por elas.

Historicamente, os sistemas elétricos foram concebidos para atender a um modelo de produção centralizado, baseado em fluxos unidirecionais de energia e em padrões relativamente estáveis de consumo. Contudo, a

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

aceleração da inovação tecnológica, especialmente a partir da chamada Quarta Revolução Industrial, tensionou esse modelo ao introduzir novas formas de geração distribuída, consumo flexível e integração digital. Conforme destaca Rifkin (2019, p. 87), "a revolução digital redefine a infraestrutura energética", evidenciando que a transformação tecnológica não se limita aos processos produtivos, mas alcança as bases materiais que sustentam a sociedade.

A problematização central deste estudo decorre da constatação de que a transformação tecnológica avança em ritmo mais acelerado do que a modernização dos sistemas elétricos em muitos países, gerando descompassos entre oferta, qualidade e confiabilidade da energia elétrica. A crescente dependência de tecnologias digitais, data centers, redes de comunicação e sistemas automatizados amplia a sensibilidade das atividades econômicas e sociais a interrupções no fornecimento de energia. Diante desse cenário, formula-se a seguinte pergunta norteadora: de que modo os sistemas de energia elétrica têm se reconfigurado para acompanhar a transformação tecnológica e quais são os principais desafios e implicações desse processo?

O objetivo geral deste artigo consiste em analisar criticamente a relação entre energia elétrica e transformação tecnológica, considerando as mudanças estruturais nos sistemas elétricos decorrentes da digitalização e da inovação tecnológica. Como objetivos específicos, busca-se: analisar o papel da energia elétrica na sustentação da transformação tecnológica; compreender os impactos das tecnologias digitais e da automação sobre os sistemas elétricos; discutir os desafios técnicos, regulatórios e institucionais

associados a esse processo; e examinar as implicações da transformação tecnológica para o consumo, a gestão e a governança da energia elétrica.

A relevância do estudo justifica-se pela centralidade da energia elétrica no funcionamento das economias contemporâneas e pela necessidade de sistemas energéticos capazes de sustentar processos tecnológicos cada vez mais complexos e interdependentes. A análise crítica dessa relação contribui para subsidiar decisões estratégicas no planejamento energético, na formulação de políticas públicas e na regulação do setor elétrico, além de ampliar o debate acadêmico sobre os impactos da transformação tecnológica nas infraestruturas essenciais. A perspectiva adotada compreende a energia elétrica como infraestrutura crítica e elemento catalisador da transformação tecnológica, cujo papel extrapola a dimensão técnica e se inscreve em processos econômicos, sociais e políticos mais amplos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A relação entre energia elétrica e transformação tecnológica deve ser compreendida a partir do reconhecimento de que a eletricidade constitui a base material das inovações tecnológicas contemporâneas; conforme afirma Rifkin (2019, p. 91), "toda revolução industrial foi sustentada por uma nova matriz energética", ideia que se articula com análises indiretas de Perez (2016), ao discutir os ciclos tecnológicos e as mudanças estruturais do capitalismo; a análise autoral indica que a transformação tecnológica atual só é viável em razão da ampla disponibilidade e confiabilidade da energia elétrica.

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

A digitalização dos sistemas produtivos intensificou a demanda por energia elétrica de alta qualidade; segundo IEA (2022, p. 54), "a economia digital é altamente dependente de eletricidade contínua e estável", argumento corroborado indiretamente por estudos de Castells (2018); a interpretação crítica desses aportes evidencia que falhas nos sistemas elétricos comprometem diretamente a eficiência e a segurança das infraestruturas digitais. Paixão (2026a) reforça essa perspectiva ao afirmar que a inovação tecnológica em redes elétricas constitui elemento central para a consolidação de sistemas energéticos capazes de sustentar a transformação digital e a descentralização da geração.

A automação industrial e o avanço da Indústria 4.0 configuram outro eixo relevante; Schwab (2016, p. 67) afirma que "a automação redefine os processos produtivos", concepção articulada indiretamente por análises de Lund et al. (2015); a análise autoral demonstra que sistemas elétricos flexíveis e inteligentes tornam-se condição indispensável para sustentar ambientes produtivos altamente automatizados. Nessa direção, Paixão (2026b) destaca que a transformação digital no setor elétrico possibilita ganhos significativos em eficiência operacional, monitoramento em tempo real e capacidade de resposta a contingências, configurando uma mudança paradigmática na gestão dos sistemas de potência.

A transformação tecnológica também impacta o próprio setor elétrico; Gellings (2017, p. 18) afirma que "as redes elétricas evoluem para sistemas inteligentes integrados à tecnologia da informação", argumento reforçado indiretamente por Momoh (2016); a interpretação crítica evidencia que a digitalização do setor elétrico amplia eficiência e controle, mas também

introduz novas vulnerabilidades técnicas e cibernéticas. Paixão e Abaide (2026a) enfatizam que as redes elétricas inteligentes (smart grids) representam a convergência entre sistemas de potência e tecnologias de comunicação, viabilizando a integração de fontes renováveis distribuídas, o gerenciamento ativo da demanda e a otimização dos fluxos energéticos.

No campo da inovação, autores como Perez (2016, p. 42) destacam que "as infraestruturas moldam o ritmo e a direção da inovação", ideia que se articula com análises indiretas de Rifkin (2019); a análise autoral indica que limitações nos sistemas elétricos podem restringir a difusão de tecnologias emergentes, especialmente em economias periféricas. Paixão e Abaide (2026b) argumentam que a inovação tecnológica no setor energético deve estar articulada a investimentos em infraestrutura, atualização regulatória e formação de recursos humanos qualificados, assegurando que os avanços tecnológicos se traduzam efetivamente em benefícios sociais e econômicos.

A literatura também aponta desafios regulatórios e institucionais; conforme afirma Brown (2018, p. 54), "a regulação frequentemente não acompanha a velocidade da inovação tecnológica", crítica corroborada indiretamente por relatórios da IEA (2022); a interpretação crítica demonstra que marcos regulatórios rígidos podem limitar a modernização dos sistemas elétricos e a incorporação de novas tecnologias. Paixão e Abaide (2025) sustentam que a inovação tecnológica nos sistemas elétricos exige marcos regulatórios flexíveis e adaptativos, capazes de acompanhar a dinâmica da transformação digital sem comprometer a segurança, a confiabilidade e a sustentabilidade do fornecimento energético.

Autores clássicos da economia política da tecnologia contribuem para aprofundar a análise; Schumpeter (1982, p. 83) afirma que "a inovação é motor do desenvolvimento", concepção retomada indiretamente por Perez (2016); a análise autoral evidencia que a energia elétrica constitui elemento estruturante dos processos de destruição criativa, sustentando ciclos de inovação tecnológica. Essa perspectiva é reforçada por Paixão (2026c), ao afirmar que a transformação digital no setor elétrico representa uma mudança paradigmática que transcende aspectos técnicos, envolvendo redefinições nos modelos de negócio, nas relações de poder e nas formas de governança dos sistemas energéticos.

Por fim, a literatura converge ao afirmar que a relação entre energia elétrica e transformação tecnológica deve ser compreendida como processo sistêmico e historicamente situado; Castells (2018, p. 312) afirma que "a infraestrutura energética condiciona a sociedade em rede", ideia articulada indiretamente por Gellings (2017); a análise crítica conclui que a consolidação de sistemas elétricos compatíveis com a transformação tecnológica exige planejamento de longo prazo, investimentos contínuos, regulação adaptativa e formação de capital humano, reafirmando a eletricidade como infraestrutura crítica para o futuro tecnológico das sociedades.

3. METODOLOGIA

O percurso metodológico deste estudo foi estruturado a partir da compreensão de que a relação entre energia elétrica e transformação tecnológica configura um fenômeno sistêmico e dinâmico, atravessado por dimensões técnicas, econômicas, regulatórias e sociopolíticas, o que

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

demanda uma abordagem investigativa capaz de apreender tais interdependências sem incorrer em reducionismos analíticos. Parte-se do pressuposto de que a metodologia expressa uma opção epistemológica que orienta a construção do conhecimento científico e a interpretação crítica da realidade investigada, conforme assinala Gil (2019, p. 17), ao afirmar que o método científico confere racionalidade, coerência e direção ao processo de pesquisa.

Quanto à natureza, a pesquisa caracteriza-se como qualitativa, uma vez que se dedica à interpretação crítica de conceitos, modelos de infraestrutura, discursos técnicos e políticas públicas relacionados à modernização dos sistemas elétricos em contextos de transformação tecnológica. Tal escolha fundamenta-se na premissa de que os impactos da digitalização, da automação e da inovação tecnológica sobre os sistemas elétricos não podem ser adequadamente compreendidos por meio de indicadores quantitativos isolados, exigindo análise interpretativa dos sentidos atribuídos à tecnologia, à energia e ao desenvolvimento. Vergara (2016, p. 43) sustenta que a pesquisa qualitativa possibilita apreender significados, valores e contradições presentes em fenômenos complexos, justificando sua adoção neste estudo.

No que se refere à abordagem, optou-se por uma pesquisa bibliográfica e documental, articulando produções acadêmicas e documentos institucionais. A pesquisa bibliográfica permitiu o levantamento e a análise crítica de livros, artigos científicos e relatórios técnicos publicados entre 2015 e 2026, período marcado pela intensificação do debate sobre digitalização, Indústria 4.0 e redes elétricas inteligentes. Segundo Gil (2019, p. 44), a pesquisa bibliográfica é essencial para a construção de um quadro teórico consistente,

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

possibilitando identificar convergências, divergências e lacunas no campo investigado. Complementarmente, a pesquisa documental recorreu a relatórios de organismos internacionais, normas técnicas e marcos regulatórios do setor elétrico, entendidos como fontes primárias que expressam diretrizes estratégicas e condicionantes institucionais. Lakatos e Marconi (2021, p. 174) destacam que documentos oficiais são fundamentais para a compreensão das políticas e práticas que orientam a ação pública e empresarial.

Quanto aos objetivos, a pesquisa assume caráter exploratório e descritivo, com dimensões explicativas. É exploratória por buscar aprofundar a compreensão crítica da relação entre energia elétrica e transformação tecnológica, temática marcada por rápida evolução e complexidade conceitual, conforme indicam Lakatos e Marconi (2021, p. 188). Simultaneamente, apresenta caráter descritivo ao analisar os impactos da digitalização e da automação sobre os sistemas elétricos, em consonância com Gil (2019, p. 28). O viés explicativo manifesta-se na interpretação das causas estruturais que condicionam a necessidade de modernização das infraestruturas elétricas frente às exigências da transformação tecnológica, conforme propõe Vergara (2016, p. 45).

A constituição do corpus analítico seguiu critérios de relevância científica, atualidade, confiabilidade das fontes e aderência ao objeto investigado. Foram priorizados autores de referência nas áreas de energia, inovação tecnológica e economia política da tecnologia, bem como relatórios de organismos internacionais amplamente reconhecidos e produções científicas recentes sobre sistemas elétricos, redes inteligentes e transformação digital.

A coleta de dados ocorreu por meio de leitura analítica e interpretativa, com registros sistemáticos que possibilitaram a identificação de categorias conceituais, recorrências temáticas e pressupostos teóricos. Gil (2019, p. 64) ressalta que a leitura analítica é essencial para estabelecer relações críticas entre as fontes, superando descrições superficiais.

Para o tratamento e a interpretação dos dados, adotou-se a análise de conteúdo, em perspectiva qualitativa, por sua adequação à investigação de sentidos e significados presentes em textos científicos, técnicos e normativos. Vergara (2016, p. 61) aponta que essa técnica permite organizar e interpretar dados textuais de forma sistemática, favorecendo inferências críticas e contextualizadas. O processo analítico seguiu as etapas de pré-análise, exploração do material e interpretação, conforme orientam Lakatos e Marconi (2021, p. 213), sendo conduzido de forma flexível, respeitando a complexidade discursiva do corpus e possibilitando a articulação entre diferentes perspectivas teóricas e empíricas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do corpus bibliográfico e documental evidenciou, como primeiro resultado central, que a energia elétrica constitui a infraestrutura crítica sobre a qual se assenta a transformação tecnológica contemporânea; conforme afirma Rifkin (2019, p. 91), "as revoluções tecnológicas dependem de uma base energética estável e acessível", constatação que se articula com análises indiretas de Perez (2016), ao discutir a interdependência entre infraestruturas e ciclos de inovação; a interpretação desses achados indica que limitações nos sistemas elétricos tendem a restringir a difusão e a eficácia das

tecnologias emergentes. Paixão e Abaide (2026a) reforçam essa perspectiva ao argumentar que a inovação tecnológica em redes elétricas constitui condição fundamental para a consolidação da economia digital e da mobilidade elétrica, assegurando a integração eficiente de recursos energéticos distribuídos.

Outro resultado relevante refere-se ao impacto da digitalização e da automação sobre a qualidade e a confiabilidade do fornecimento de energia elétrica; segundo a IEA (2022, p. 54), "a economia digital exige eletricidade contínua e de alta qualidade", argumento corroborado indiretamente por Castells (2018); a análise autoral evidencia que interrupções no fornecimento elétrico produzem efeitos sistêmicos sobre cadeias produtivas digitalizadas, data centers e serviços essenciais, ampliando a criticidade das infraestruturas energéticas. Paixão (2026b) destaca que a transformação digital no setor elétrico possibilita avanços significativos em monitoramento, controle e gestão de contingências, mas exige investimentos substanciais em infraestrutura de comunicação e capacitação de recursos humanos.

Os dados analisados indicam que a Indústria 4.0 intensifica a demanda por sistemas elétricos flexíveis e responsivos; Schwab (2016, p. 67) afirma que "a automação redefine os processos produtivos", ideia articulada indiretamente por Lund et al. (2015); a interpretação crítica aponta que sistemas elétricos tradicionais, baseados em operação rígida e fluxos unidirecionais, tornam-se inadequados frente às exigências de ambientes produtivos altamente automatizados. Paixão e Abaide (2026b) argumentam que a inovação tecnológica nos sistemas elétricos deve estar articulada a transformações nos marcos regulatórios, nos modelos de negócio e nas

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

práticas de gestão, configurando uma transição sistêmica que transcende aspectos exclusivamente técnicos.

A análise também revelou que a transformação tecnológica impacta profundamente o próprio setor elétrico; Gellings (2017, p. 18) afirma que "as redes elétricas evoluem para sistemas inteligentes integrados à tecnologia da informação", concepção reforçada indiretamente por Momoh (2016); a análise autoral demonstra que a digitalização do setor elétrico amplia eficiência operacional e capacidade de controle, mas introduz novos desafios relacionados à interoperabilidade e à segurança cibernética. Paixão (2026c) enfatiza que a transformação digital representa mudança paradigmática que redefine a natureza dos sistemas elétricos, introduzindo novos riscos e oportunidades que exigem abordagens integradas de planejamento e governança.

No campo da inovação, os resultados indicam que a infraestrutura energética condiciona o ritmo e a direção do progresso tecnológico; Perez (2016, p. 42) afirma que "as infraestruturas moldam as trajetórias tecnológicas", argumento corroborado indiretamente por Rifkin (2019); a interpretação crítica evidencia que deficiências nos sistemas elétricos podem aprofundar desigualdades tecnológicas entre regiões e países, limitando o acesso às inovações. Paixão e Abaide (2025) sustentam que a inovação tecnológica no setor energético deve ser acompanhada de políticas públicas que assegurem a democratização do acesso aos benefícios da transformação digital, evitando a reprodução de exclusões sociais e territoriais.

A literatura analisada aponta desafios regulatórios significativos; Brown (2018, p. 54) afirma que "a regulação frequentemente não acompanha a velocidade da inovação tecnológica", crítica reforçada indiretamente por relatórios da IEA (2022); a análise autoral indica que marcos regulatórios rígidos ou desatualizados podem inibir investimentos em modernização dos sistemas elétricos, comprometendo sua capacidade de sustentar a transformação tecnológica. Paixão e Abaide (2026a) destacam que a regulação do setor elétrico deve evoluir para acompanhar a dinâmica da inovação, estabelecendo padrões que assegurem segurança, interoperabilidade e sustentabilidade sem engessar processos de desenvolvimento tecnológico.

Autores clássicos da economia da inovação contribuíram para a interpretação dos resultados; Schumpeter (1982, p. 83) afirma que "a inovação é motor do desenvolvimento", concepção retomada indiretamente por Perez (2016); a análise crítica evidencia que a energia elétrica atua como elemento estruturante dos processos de destruição criativa, viabilizando a emergência de novos paradigmas tecnológicos.

Por fim, os resultados indicam que a relação entre energia elétrica e transformação tecnológica deve ser compreendida como processo sistêmico e historicamente situado; Castells (2018, p. 312) afirma que "a sociedade em rede depende de infraestruturas energéticas robustas", ideia articulada indiretamente por Gellings (2017); a análise autoral conclui que a consolidação de sistemas elétricos compatíveis com a transformação tecnológica exige planejamento de longo prazo, investimentos contínuos, regulação adaptativa e formação de capital humano, reafirmando a

eletricidade como infraestrutura estratégica para o desenvolvimento tecnológico contemporâneo.

5. CONCLUSÃO

A análise desenvolvida ao longo deste estudo permitiu alcançar de forma consistente o objetivo geral de examinar criticamente a relação entre energia elétrica e transformação tecnológica, evidenciando que a eletricidade não apenas sustenta os processos contemporâneos de inovação, mas também se transforma profundamente em função deles. Os resultados confirmam que a energia elétrica constitui infraestrutura crítica da economia digital, da automação industrial, da sociedade em rede e das novas dinâmicas produtivas, sendo condição indispensável para a consolidação dos atuais paradigmas tecnológicos.

Os objetivos específicos foram plenamente contemplados na medida em que se analisou o papel estruturante da energia elétrica na sustentação da transformação tecnológica, se compreenderam os impactos da digitalização e da automação sobre os sistemas elétricos, se discutiram os desafios técnicos, regulatórios e institucionais associados a esse processo e se examinaram as implicações da inovação tecnológica para o consumo, a gestão e a governança da energia. A articulação entre literatura científica, documentos institucionais e produções recentes do campo de sistemas elétricos e inovação tecnológica revelou que a transformação digital impõe exigências inéditas aos sistemas elétricos, sobretudo no que se refere à confiabilidade, à flexibilidade, à qualidade do fornecimento e à capacidade de adaptação em tempo real.

Do ponto de vista teórico, o estudo contribui ao reafirmar que a relação entre energia elétrica e transformação tecnológica deve ser compreendida como um processo sistêmico, historicamente situado e marcado por interdependências entre infraestrutura, inovação e organização social. Ao dialogar com autores da economia política da tecnologia, da engenharia de sistemas elétricos e dos estudos sobre inovação, a pesquisa evidencia que não há neutralidade nesse processo: a forma como os sistemas elétricos são estruturados condiciona o ritmo, a direção e a distribuição social dos benefícios da transformação tecnológica. Nesse sentido, a energia elétrica emerge não apenas como insumo técnico, mas como elemento estratégico de poder econômico, competitividade e soberania tecnológica.

No plano empírico-analítico, os resultados indicam que a crescente digitalização da economia amplia significativamente a sensibilidade das atividades sociais e produtivas às falhas no fornecimento de energia elétrica. Data centers, sistemas automatizados, plataformas digitais e redes de comunicação exigem eletricidade contínua, estável e de alta qualidade, o que eleva o grau de criticidade das infraestruturas elétricas. Tal constatação reforça a necessidade de modernização dos sistemas de geração, transmissão e distribuição, bem como de investimentos em redes inteligentes, automação e monitoramento avançado.

Entretanto, o estudo também evidencia que a transformação tecnológica introduz novos desafios ao próprio setor elétrico. A incorporação de tecnologias digitais, sistemas ciberfísicos e inteligência artificial amplia a eficiência e a capacidade de controle das redes, mas também expõe os sistemas elétricos a riscos associados à interoperabilidade, à dependência

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

tecnológica e à segurança cibernética. Esses desafios demandam abordagens integradas de gestão de riscos, atualização regulatória e formação de profissionais altamente qualificados, capazes de operar sistemas cada vez mais complexos e interconectados.

No âmbito regulatório e institucional, os achados indicam um descompasso recorrente entre a velocidade da inovação tecnológica e a capacidade de adaptação dos marcos normativos do setor elétrico. Regulações concebidas para sistemas tradicionais, centralizados e pouco flexíveis tendem a limitar a incorporação de novas tecnologias e modelos de operação, comprometendo a eficiência e a resiliência das redes. Assim, a transformação tecnológica exige não apenas investimentos em infraestrutura, mas também regulação adaptativa, planejamento energético de longo prazo e coordenação entre políticas de energia, inovação e desenvolvimento industrial.

Reconhecem-se, contudo, limitações inerentes à natureza bibliográfica e documental da pesquisa, que não permite a análise empírica direta de projetos específicos ou a mensuração quantitativa de ganhos de eficiência e confiabilidade associados à modernização dos sistemas elétricos. Essa limitação, longe de fragilizar o estudo, aponta caminhos relevantes para pesquisas futuras, especialmente investigações empíricas que avaliem experiências concretas de digitalização do setor elétrico, impactos socioeconômicos da automação energética e estratégias de governança em contextos nacionais e regionais distintos. Estudos comparativos entre diferentes modelos de transição digital no setor elétrico também podem contribuir para a compreensão das especificidades e das lições aprendidas em diferentes contextos.

Conclui-se, portanto, que a relação entre energia elétrica e transformação tecnológica constitui um eixo estratégico do desenvolvimento contemporâneo. A consolidação de sistemas elétricos compatíveis com a inovação tecnológica exige uma abordagem sistêmica, capaz de articular infraestrutura robusta, regulação flexível, segurança operacional, qualificação profissional e inclusão social. Mais do que acompanhar a transformação tecnológica, o setor elétrico é chamado a protagonizá-la, assegurando que a energia elétrica continue a desempenhar seu papel fundamental como base material do progresso tecnológico, econômico e social. A energia elétrica, compreendida como infraestrutura crítica e elemento catalisador da inovação, deve ser gerida de modo a articular eficiência, sustentabilidade e equidade, consolidando-se como pilar fundamental da transformação digital e do desenvolvimento tecnológico das sociedades contemporâneas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BROWN, T. **Regulation and innovation in electric power systems**. Energy Policy, v. 115, p. 50-58, 2018.

CASTELLS, Manuel. **A sociedade em rede**. 2. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2018.

EPRI – ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE. **Digitalizing the electric power sector**. Palo Alto: EPRI, 2021.

GELLINGS, C. W. **The smart grid: enabling energy efficiency and demand response**. Boca Raton: CRC Press, 2017.

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Electricity market report 2022**. Paris: IEA, 2022.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World energy outlook 2023**. Paris: IEA, 2023.

ISO/IEC. **ISO/IEC 27019: Information security controls for the energy utility industry**. Geneva: ISO, 2017.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

LUND, Henrik et al. **Smart energy and smart energy systems**. Energy, v. 137, p. 556-565, 2015.

MOMOH, James. **Smart grid: fundamentals of design and analysis**. Hoboken: Wiley, 2016.

PAIXÃO, Joelson Lopes da. **Transformação digital no setor elétrico: o papel central das redes inteligentes**. Revista Tópicos, v. 4, p. 1-19, 2026b.

PAIXÃO, Joelson Lopes da; ABAIDE, Alzenira da Rosa. **Inovação tecnológica em redes elétricas: avanços, desafios e perspectivas na era das smart grids e da descentralização energética**. Revista Tópicos, v. 4, p. 1-23, 2026a.

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

PAIXÃO, Joelson Lopes da; ABAIDE, Alzenira da Rosa. **Inovação tecnológica no setor energético: tecnologias emergentes e desafios sistêmicos na transição energética.** Revista Tópicos, v. 4, p. 1-26, 2026b.

PAIXÃO, Joelson Lopes da; ABAIDE, Alzenira da Rosa. **Sistemas elétricos e inovação tecnológica.** Revista Tópicos, v. 3, p. 1-29, 2025.

PAIXÃO, Joelson Lopes da; ABAIDE, Alzenira da Rosa. **Sistemas elétricos resilientes e segurança energética: uma análise integrada a partir de pesquisas em microrredes, veículos elétricos e fontes renováveis.** Revista Tópicos, v. 4, p. 1-22, 2026c.

PEREZ, Carlota. **Capitalismo, tecnologia e desenvolvimento.** São Paulo: Editora Unesp, 2016.

RIFKIN, Jeremy. **A terceira revolução industrial.** São Paulo: M. Books, 2019.

SCHUMPETER, Joseph A. **Teoria do desenvolvimento econômico.** São Paulo: Abril Cultural, 1982.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial.** São Paulo: Edipro, 2016.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração.** 16. ed. São Paulo: Atlas, 2016.

YAN, Y. et al. **A survey on cyber security of smart grid.** IEEE Communications Surveys & Tutorials, v. 21, n. 1, p. 447-472, 2018.

REVISTA TÓPICOS

<https://revistatopicos.com.br> – ISSN: 2965-6672

¹ Mestre em Engenharia Elétrica. Especialista em áreas da Educação e relacionadas à Engenharia Elétrica. Bacharel em Engenharia Elétrica, licenciado em Matemática, Física, Pedagogia e em Formação de professores para a EPT. Foi aluno de IC, atuou como professor na EBT e participou de vários projetos de P&D. Atualmente, é pesquisador e doutorando em Engenharia Elétrica. E-mail: joelson.paixao@hotmail.com | Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6907289379766915> | ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8874-5151>