

SISTEMAS ELÉTRICOS RESILIENTES E SEGURANÇA ENERGÉTICA: UMA ANÁLISE INTEGRADA A PARTIR DE PESQUISAS EM MICRORREDES, VEÍCULOS ELÉTRICOS E FONTES RENOVÁVEIS

DOI: 10.5281/zenodo.18286093

Joelson Lopes da Paixão¹

Alzenira da Rosa Abaide²

RESUMO

A segurança energética constitui um dos pilares estratégicos para o desenvolvimento econômico, a estabilidade social e a soberania dos Estados no século XXI, estando diretamente relacionada à confiabilidade, à resiliência e à sustentabilidade dos sistemas elétricos. Diante do crescimento da demanda por energia, da intensificação das mudanças climáticas e da crescente interdependência entre sistemas energéticos nacionais, os sistemas elétricos passam a desempenhar papel central na garantia do suprimento contínuo e seguro de eletricidade. O problema que orienta este estudo consiste em compreender de que modo a organização, a operação e a modernização dos sistemas elétricos contribuem para a segurança energética em contextos marcados por riscos técnicos, ambientais, geopolíticos e

REVISTA TÓPICOS

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

cibernéticos. O objetivo geral é analisar a relação entre sistemas elétricos e segurança energética, destacando seus fundamentos conceituais, desafios contemporâneos e implicações para o planejamento energético, com aporte de pesquisas aplicadas em microrredes, veículos elétricos e fontes renováveis. Metodologicamente, adota-se uma abordagem qualitativa, de natureza bibliográfica e documental, baseada na análise de produções científicas, relatórios técnicos e documentos institucionais publicados entre 2015 e 2025. Os resultados indicam que a segurança energética depende da diversificação das fontes de geração, da robustez e resiliência das redes elétricas, da integração de tecnologias digitais e da capacidade de resposta a eventos extremos, sendo as microrredes e a mobilidade elétrica elementos facilitadores dessa transição. Conclui-se que sistemas elétricos resilientes, inteligentes e bem planejados são condição indispensável para fortalecer a segurança energética, exigindo políticas públicas integradas, investimentos contínuos e governança estratégica de longo prazo, alinhados com as inovações tecnológicas em curso.

Palavras-chave: Sistemas elétricos. Segurança energética. Resiliência. Microrredes. Veículos Elétricos. Planejamento energético.

ABSTRACT

Energy security constitutes one of the strategic pillars for economic development, social stability, and state sovereignty in the 21st century, being directly related to the reliability, resilience, and sustainability of electrical systems. Faced with growing energy demand, intensifying climate change, and increasing interdependence among national energy systems, electrical systems now play a central role in ensuring a continuous and secure

electricity supply. The problem guiding this study is to understand how the organization, operation, and modernization of electrical systems contribute to energy security in contexts marked by technical, environmental, geopolitical, and cyber risks. The general objective is to analyze the relationship between electrical systems and energy security, highlighting its conceptual foundations, contemporary challenges, and implications for energy planning, with input from applied research in microgrids, electric vehicles, and renewable sources. Methodologically, a qualitative approach of a bibliographic and documentary nature is adopted, based on the analysis of scientific publications, technical reports, and institutional documents published between 2015 and 2025. The results indicate that energy security depends on the diversification of generation sources, the robustness and resilience of electrical grids, the integration of digital technologies, and the capacity to respond to extreme events, with microgrids and electric mobility being facilitators of this transition. It is concluded that resilient, intelligent, and well-planned electrical systems are an indispensable condition for strengthening energy security, requiring integrated public policies, continuous investments, and long-term strategic governance, aligned with ongoing technological innovations.

Keywords: Electrical Systems. Energy Security. Resilience. Microgrids. Electric Vehicles. Energy Planning.

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica ocupa posição central nas sociedades contemporâneas, sustentando atividades econômicas, serviços essenciais, sistemas de comunicação e o funcionamento cotidiano das cidades. Nesse contexto, a

REVISTA TÓPICOS

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

segurança energética emerge como conceito estratégico, associado à capacidade de um país ou região garantir o suprimento contínuo, confiável e acessível de energia, mesmo diante de cenários adversos. Entre os diferentes componentes dos sistemas energéticos, os sistemas elétricos assumem papel de destaque, uma vez que concentram a maior parte da infraestrutura crítica responsável pela geração, transmissão e distribuição de eletricidade.

Historicamente, a segurança energética esteve fortemente associada à disponibilidade de recursos energéticos primários, como petróleo, carvão e gás natural, bem como à estabilidade geopolítica das regiões produtoras. Contudo, no século XXI, esse conceito ampliou-se de forma significativa, incorporando dimensões técnicas, ambientais, econômicas e sociais. A crescente complexidade dos sistemas elétricos, aliada à expansão das fontes renováveis, à digitalização das redes e à interconexão entre sistemas nacionais, impõe novos desafios à segurança energética, que já não pode ser compreendida apenas como garantia de oferta, mas como capacidade sistêmica de adaptação e resiliência (PAIXÃO; ABAIDE, 2025a; DANIELSSON et al., 2025).

Os sistemas elétricos tradicionais foram concebidos a partir de modelos centralizados, com grandes unidades de geração e redes hierárquicas de transmissão e distribuição. Esse arranjo, embora tenha garantido estabilidade por décadas, mostra-se cada vez mais vulnerável a falhas técnicas, eventos climáticos extremos e ataques deliberados, sejam eles físicos ou cibernéticos. Apagões de grandes proporções ocorridos em diferentes países nas últimas décadas evidenciam que a interrupção do fornecimento de energia elétrica

pode gerar impactos econômicos e sociais significativos, comprometendo serviços de saúde, transporte, comunicação e segurança pública.

Nesse cenário, a modernização dos sistemas elétricos torna-se elemento central para o fortalecimento da segurança energética. A incorporação de tecnologias digitais, sistemas de automação, redes inteligentes, microrredes e mecanismos avançados de monitoramento tem ampliado a capacidade de detecção de falhas, a resposta rápida a contingências e a recuperação do sistema após eventos disruptivos (DA PAIXÃO; ABAIDE, 2025). Ao mesmo tempo, a diversificação da matriz elétrica, com maior participação de fontes renováveis e geração distribuída, contribui para reduzir dependências excessivas e aumentar a flexibilidade operacional dos sistemas elétricos (PAIXÃO; ABAIDE, 2025b).

Entretanto, a transição para sistemas elétricos mais complexos e digitalizados também introduz novos riscos à segurança energética. A crescente interconectividade e o uso intensivo de tecnologias da informação ampliam a exposição a ameaças cibernéticas, capazes de comprometer a integridade e a disponibilidade das infraestruturas elétricas. Além disso, a variabilidade das fontes renováveis intermitentes impõe desafios adicionais ao equilíbrio entre oferta e demanda, exigindo soluções avançadas de armazenamento de energia, previsão de carga e gestão sistêmica, temas amplamente explorados em pesquisas sobre microrredes para recarga de veículos elétricos (PAIXÃO et al., 2025; SAUSEN et al., 2024).

A problematização que orienta este estudo decorre, portanto, da necessidade de compreender como os sistemas elétricos podem ser organizados e geridos

de forma a garantir níveis elevados de segurança energética em um contexto marcado por incertezas e riscos múltiplos. Pergunta-se: de que maneira a estrutura, a operação e a modernização dos sistemas elétricos, incluindo o desenvolvimento de microrredes e a integração da mobilidade elétrica, contribuem para a segurança energética contemporânea? A partir dessa questão, estabelece-se como objetivo geral analisar a relação entre sistemas elétricos e segurança energética, considerando seus fundamentos conceituais, desafios atuais e implicações para o planejamento energético, com aporte de pesquisas aplicadas recentes.

A relevância deste estudo justifica-se pela centralidade da segurança energética nas agendas nacionais e internacionais de desenvolvimento sustentável, mitigação das mudanças climáticas e proteção de infraestruturas críticas. Sistemas elétricos seguros e resilientes são condição indispensável para a transição energética, para a estabilidade econômica e para a garantia de bem-estar social. Assim, compreender os fatores que fortalecem ou fragilizam a segurança energética no âmbito dos sistemas elétricos, à luz de inovações tecnológicas concretas, torna-se fundamental para orientar decisões técnicas, políticas e institucionais.

Ao adotar uma perspectiva analítica e integrada, este estudo busca contribuir para o debate acadêmico e técnico sobre segurança energética, reconhecendo que os sistemas elétricos do século XXI devem ser planejados não apenas para operar de forma eficiente, mas para resistir, adaptar-se e responder a eventos adversos, incorporando soluções como as microrredes inteligentes. Dessa forma, reafirma-se que a segurança energética não é atributo estático,

mas resultado de processos contínuos de inovação, planejamento e governança estratégica dos sistemas elétricos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A segurança energética, no contexto dos sistemas elétricos contemporâneos, constitui um conceito multifacetado que ultrapassa a noção tradicional de garantia de oferta de energia, incorporando dimensões técnicas, econômicas, ambientais, políticas e sociais. Segundo a Agência Internacional de Energia, a segurança energética pode ser compreendida como a disponibilidade ininterrupta de fontes de energia a preços acessíveis, associada à capacidade de resposta a choques de curto e longo prazo (IEA, 2021). Essa definição evidencia que, no século XXI, a segurança energética depende diretamente da robustez e da resiliência dos sistemas elétricos, considerados infraestruturas críticas para o funcionamento das sociedades modernas.

Os sistemas elétricos, enquanto redes complexas de geração, transmissão e distribuição, desempenham papel central na materialização da segurança energética. Kundur destaca que a estabilidade e a confiabilidade dos sistemas elétricos são condições essenciais para evitar colapsos sistêmicos e interrupções em larga escala, capazes de produzir impactos econômicos e sociais severos (KUNDUR, 1994). Essa perspectiva técnica reforça a ideia de que a segurança energética não pode ser dissociada do planejamento, da operação e da manutenção adequada das redes elétricas.

Historicamente, a segurança energética esteve associada à dependência de recursos fósseis e à vulnerabilidade geopolítica das cadeias de suprimento.

Contudo, a literatura recente aponta que a eletrificação crescente das economias e a expansão das fontes renováveis reposicionaram os sistemas elétricos como eixo estratégico da segurança energética. Sovacool argumenta que a transição energética redefine os riscos associados ao setor energético, deslocando o foco da escassez de recursos para a confiabilidade das infraestruturas e para a gestão de sistemas complexos e interconectados (SOVACOO, 2016). Pesquisas aplicadas demonstram que a integração de fontes renováveis em microrredes voltadas para a recarga de veículos elétricos representa um exemplo concreto dessa reconfiguração, promovendo descentralização e resiliência (DANIELSSON et al., 2025; PAIXÃO et al., 2025).

Nesse contexto, a diversificação da matriz elétrica emerge como elemento central para o fortalecimento da segurança energética. A incorporação de fontes renováveis, como a solar e a eólica, contribui para reduzir a dependência de combustíveis importados e mitigar riscos geopolíticos. Entretanto, autores como Lund ressaltam que a intermitência dessas fontes impõe desafios adicionais aos sistemas elétricos, exigindo soluções tecnológicas avançadas em armazenamento de energia, gestão da demanda e integração sistêmica (LUND, 2014). Assim, a segurança energética passa a depender não apenas da diversidade de fontes, mas da capacidade do sistema elétrico de operar de forma flexível e adaptativa, como proposto em sistemas de gerenciamento energético para microrredes (PAIXÃO et al., 2025).

A resiliência dos sistemas elétricos constitui outro eixo fundamental do referencial teórico. De acordo com Panteli e Mancarella, a resiliência refere-se à capacidade do sistema de resistir, absorver, adaptar-se e recuperar-se

REVISTA TÓPICOS

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

rapidamente de eventos adversos, como falhas técnicas, desastres naturais ou ataques deliberados (PANTELI; MANCARELLA, 2015). Essa abordagem amplia a compreensão da segurança energética, ao incorporar a gestão de riscos extremos e a preparação para cenários de alta incerteza, cada vez mais frequentes em função das mudanças climáticas. Estratégias de localização e operação de infraestruturas críticas, como estações de recarga rápida em rodovias, devem considerar esses princípios de resiliência (DA PAIXÃO et al., 2021).

A digitalização e a automação dos sistemas elétricos também ocupam lugar central nas discussões teóricas contemporâneas. A introdução de redes inteligentes, sistemas de monitoramento em tempo real e tecnologias de comunicação bidirecional ampliou a capacidade de controle e resposta dos sistemas elétricos. Contudo, conforme apontam Mo et al., essa digitalização também expõe as redes elétricas a novas ameaças, especialmente no campo da cibersegurança, tornando a proteção das infraestruturas críticas componente essencial da segurança energética (MO et al., 2018).

No plano institucional e regulatório, a literatura destaca que a segurança energética depende de governança eficaz e planejamento integrado de longo prazo. Pérez-Arriaga argumenta que sistemas elétricos seguros exigem marcos regulatórios capazes de equilibrar eficiência econômica, confiabilidade técnica e sustentabilidade ambiental (PÉREZ-ARRIAGA, 2014). A ausência de regulação adequada pode comprometer investimentos, aumentar vulnerabilidades e fragilizar a capacidade de resposta a crises energéticas.

Por fim, o referencial teórico evidencia que a segurança energética associada aos sistemas elétricos deve ser analisada à luz de princípios de desenvolvimento sustentável e justiça social. A garantia de acesso universal à energia, a preços justos e com baixo impacto ambiental, configura-se como desafio central para países em desenvolvimento. Assim, autores como Sachs defendem que a segurança energética deve ser integrada a projetos de desenvolvimento sustentável, capazes de articular eficiência técnica, equidade social e proteção ambiental (SACHS, 2015). Dessa forma, os sistemas elétricos seguros não são apenas tecnicamente robustos, mas socialmente inclusivos e ambientalmente responsáveis.

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa foi conduzida a partir de um delineamento metodológico alinhado à natureza teórica e analítica do problema investigado, que consiste em compreender a relação entre sistemas elétricos e segurança energética no contexto contemporâneo. Optou-se por uma abordagem qualitativa, por se entender que a segurança energética envolve múltiplas dimensões inter-relacionadas, cujos significados, interpretações e implicações não podem ser plenamente apreendidos por meio de métodos quantitativos. Conforme Gil, a pesquisa qualitativa é indicada quando o objetivo central é a compreensão aprofundada de fenômenos complexos, situados em contextos históricos e institucionais específicos (GIL, 2019).

Quanto à natureza, trata-se de uma pesquisa bibliográfica e documental. A pesquisa bibliográfica fundamentou-se na análise de livros, artigos científicos e capítulos de obras publicados em periódicos e editoras de

REVISTA TÓPICOS

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

reconhecida relevância acadêmica, nacionais e internacionais, que abordam sistemas elétricos, segurança energética, resiliência de infraestruturas críticas e transição energética. Paralelamente, a pesquisa documental envolveu o exame de relatórios técnicos e documentos institucionais produzidos por organismos internacionais, como a Agência Internacional de Energia e a Organização das Nações Unidas, considerados fontes primárias para a compreensão das diretrizes globais de segurança energética. Lakatos e Marconi ressaltam que a pesquisa documental amplia o alcance analítico ao incorporar documentos normativos e técnicos que expressam orientações políticas e institucionais (LAKATOS; MARCONI, 2021).

No que se refere aos objetivos, a pesquisa caracteriza-se como exploratória e descritiva. É exploratória porque busca ampliar a compreensão sobre um tema complexo e em constante atualização, permitindo maior familiaridade com conceitos, riscos e estratégias associadas à segurança energética dos sistemas elétricos. Gil destaca que pesquisas exploratórias são adequadas quando o objeto de estudo apresenta elevada complexidade e diversidade de abordagens (GIL, 2019). Simultaneamente, assume caráter descritivo ao sistematizar conceitos, desafios e tendências identificadas na literatura analisada, sem a pretensão de estabelecer relações causais diretas.

A constituição do corpus analítico seguiu critérios de relevância temática, atualidade e reconhecimento acadêmico das fontes, priorizando produções publicadas entre 2015 e 2025, sem desconsiderar obras clássicas fundamentais para a compreensão dos sistemas elétricos e da segurança energética. A seleção das fontes foi orientada pelo princípio da intencionalidade teórica, conforme indicado por Lakatos e Marconi, que

REVISTA TÓPICOS

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

defendem a pertinência conceitual como critério central em pesquisas qualitativas (LAKATOS; MARCONI, 2021).

Como procedimento de coleta de dados, adotou-se a leitura analítica e interpretativa das fontes selecionadas, desenvolvida em etapas de leitura exploratória, seletiva e crítica. Gil destaca que esse procedimento possibilita identificar conceitos-chave, pressupostos teóricos e convergências analíticas relevantes para a compreensão do fenômeno investigado (GIL, 2019). Os dados foram organizados por meio de fichamentos analíticos, assegurando sistematização e coerência interpretativa.

A técnica de análise empregada foi a análise de conteúdo, por sua adequação à interpretação sistemática de textos acadêmicos e documentos institucionais. Segundo Vergara, a análise de conteúdo consiste em um conjunto de procedimentos rigorosos que permitem inferir significados, organizar categorias analíticas e interpretar discursos de forma coerente (VERGARA, 2021). As categorias analíticas emergiram do próprio material analisado e foram posteriormente articuladas ao referencial teórico, garantindo coerência epistemológica entre método, objeto e análise.

Por fim, ressalta-se que o percurso metodológico adotado reflete uma postura epistemológica crítica, que compreende a segurança energética como construção histórica e socialmente situada, condicionada por fatores técnicos, políticos e institucionais. Tal perspectiva assegura rigor científico, transparência metodológica e alinhamento entre os objetivos da pesquisa e as escolhas metodológicas realizadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do corpus teórico e documental permitiu identificar que a segurança energética, no âmbito dos sistemas elétricos contemporâneos, apresenta-se como um conceito progressivamente ampliado, que extrapola a noção clássica de garantia de oferta e passa a incorporar a confiabilidade operacional, a resiliência frente a eventos extremos, a segurança cibernética e a sustentabilidade ambiental. Os resultados evidenciam convergência significativa na literatura quanto ao entendimento de que os sistemas elétricos constituem o núcleo estrutural da segurança energética no século XXI, especialmente em sociedades altamente eletrificadas e dependentes de infraestruturas críticas interconectadas.

Um dos principais achados refere-se à centralidade da confiabilidade e da robustez dos sistemas elétricos para a segurança energética. Os estudos analisados demonstram que falhas em redes de transmissão e distribuição geram impactos sistêmicos imediatos, afetando setores essenciais como saúde, transporte, telecomunicações e abastecimento de água. Apagões de grande escala ocorridos em diferentes regiões do mundo são frequentemente citados como evidência empírica de que a segurança energética está diretamente condicionada à capacidade dos sistemas elétricos de operar de forma estável e contínua, mesmo sob condições adversas. Essa constatação reforça a literatura técnica que associa segurança energética à estabilidade dinâmica, à redundância de ativos e à manutenção preventiva das redes.

Outro resultado relevante diz respeito à diversificação da matriz elétrica como estratégia de mitigação de riscos energéticos. A análise aponta que

sistemas elétricos excessivamente dependentes de uma única fonte ou de poucos empreendimentos de grande porte tendem a apresentar maior vulnerabilidade a choques climáticos, falhas técnicas ou instabilidades geopolíticas. A incorporação de fontes renováveis, aliada à expansão da geração distribuída, aparece de forma recorrente como mecanismo de fortalecimento da segurança energética, ao reduzir dependências externas e aumentar a flexibilidade operacional. Contudo, a literatura também destaca que a diversificação, por si só, não garante segurança energética, sendo imprescindível a integração sistêmica dessas fontes aos sistemas elétricos. Pesquisas sobre microrredes híbridas (fotovoltaica, eólica e baterias) para recarga de veículos elétricos ilustram os desafios e as soluções para essa integração, como a necessidade de sistemas de gestão energética avançados para otimizar o despacho e considerar a degradação de armazenadores (PAIXÃO et al., 2025; SAUSEN et al., 2024).

A resiliência dos sistemas elétricos emergiu como um dos eixos mais relevantes dos resultados. Observa-se consenso entre os autores quanto à necessidade de deslocar o foco do planejamento energético da prevenção absoluta de falhas para a capacidade de resposta e recuperação rápida após eventos disruptivos. Fenômenos climáticos extremos, cada vez mais frequentes em função das mudanças climáticas, evidenciam a vulnerabilidade de infraestruturas elétricas tradicionais e reforçam a importância de sistemas capazes de se adaptar, isolar falhas e restabelecer o fornecimento em prazos reduzidos. Nesse contexto, as microrredes, particularmente as projetadas para operação em rodovias, são apresentadas como estruturas que podem operar de forma ilhada e garantir suprimento

para cargas críticas, como estações de recarga rápida, contribuindo para a resiliência do sistema mais amplo (DA PAIXÃO et al., 2021; PAIXÃO et al., 2023). Esse achado dialoga diretamente com abordagens contemporâneas que tratam a segurança energética como atributo dinâmico e não como estado permanente.

A digitalização dos sistemas elétricos aparece nos resultados como fator ambivalente para a segurança energética. Por um lado, tecnologias digitais, automação e sistemas de monitoramento em tempo real ampliam significativamente a capacidade de controle, diagnóstico e resposta a falhas, contribuindo para maior confiabilidade e eficiência operacional. Aplicações de inteligência artificial e lógica fuzzy para previsão de geração e gestão de microrredes são exemplos dessa potencialidade (PAIXÃO; ABAIDE, 2021). Por outro, a literatura evidencia que a crescente interconectividade expõe os sistemas elétricos a riscos cibernéticos inéditos, capazes de comprometer a integridade e a disponibilidade do fornecimento de energia. Assim, a segurança energética passa a depender, de forma crescente, da integração entre engenharia elétrica, tecnologia da informação e estratégias de cibersegurança.

Os resultados também indicam que a segurança energética associada aos sistemas elétricos é fortemente condicionada por fatores institucionais e regulatórios. Marcos regulatórios inadequados, ausência de planejamento de longo prazo e fragmentação da governança aparecem como elementos que fragilizam a capacidade dos sistemas elétricos de responder a crises. Em contrapartida, países e regiões que adotam políticas integradas de planejamento energético, com investimentos contínuos em infraestrutura,

inovação e capacitação técnica, tendem a apresentar maior robustez e previsibilidade no suprimento de energia elétrica. Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) que integram universidades, concessionárias e agentes públicos, como os citados no currículo analisado, são exemplos de iniciativas que buscam alinhar inovação tecnológica a necessidades do sistema elétrico e diretrizes regulatórias.

Por fim, a análise revelou que a segurança energética não pode ser dissociada da dimensão social. O acesso universal à eletricidade, a preços justos e com qualidade adequada, configura-se como componente essencial da segurança energética, especialmente em países em desenvolvimento. Sistemas elétricos que excluem parcelas significativas da população ou que apresentam elevados níveis de desigualdade territorial comprometem não apenas a segurança energética, mas a própria estabilidade social. Dessa forma, os resultados reforçam a compreensão de que a segurança energética deve ser pensada de forma integrada, articulando eficiência técnica, resiliência sistêmica e justiça social.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu analisar, de forma crítica e fundamentada, a relação entre sistemas elétricos e segurança energética, evidenciando que, no contexto contemporâneo, a eletricidade constitui o eixo estruturante da segurança energética das sociedades modernas. Os objetivos propostos foram plenamente alcançados, uma vez que se identificaram os principais fatores técnicos, institucionais e sociais que condicionam a segurança energética no âmbito dos sistemas elétricos, bem como os desafios emergentes associados

à transição energética e à digitalização das infraestruturas, ilustrados por pesquisas aplicadas em microrredes e mobilidade elétrica.

Os resultados confirmam a hipótese de que a segurança energética deixou de ser compreendida apenas como garantia de oferta de energia e passou a incorporar atributos como confiabilidade, resiliência, adaptabilidade e proteção de infraestruturas críticas. Nesse sentido, sistemas elétricos robustos, diversificados e bem planejados configuram-se como condição indispensável para enfrentar riscos crescentes, como eventos climáticos extremos, falhas sistêmicas e ameaças cibernéticas. A análise também evidenciou que a modernização dos sistemas elétricos, embora necessária, introduz novos desafios que exigem abordagens integradas e multidisciplinares, onde soluções como as microrredes inteligentes e a integração veículo-rede (V2G) podem desempenhar um papel relevante.

Do ponto de vista teórico, o estudo contribui para ampliar a compreensão da segurança energética como conceito dinâmico e multidimensional, fortemente dependente da organização e da governança dos sistemas elétricos. Ao articular literatura técnica, econômica e institucional com exemplos de pesquisa aplicada, a pesquisa reforça a ideia de que a segurança energética não é resultado exclusivo de avanços tecnológicos, mas de processos contínuos de planejamento, regulação e gestão estratégica de longo prazo, que devem incorporar as inovações em curso.

No plano prático, os achados oferecem subsídios relevantes para formuladores de políticas públicas, operadores de sistemas elétricos e planejadores energéticos, ao evidenciar a necessidade de investimentos

consistentes em infraestrutura, inovação tecnológica, cibersegurança e qualificação profissional. Destaca-se, ainda, a importância de políticas orientadas à resiliência e à inclusão, capazes de assegurar que a segurança energética se traduza em acesso universal, confiável e sustentável à eletricidade. A integração de projetos de P&D entre academia e setor produtivo surge como um caminho promissor para testar e implantar soluções inovadoras que fortaleçam a segurança do sistema.

Reconhecem-se como limitações do estudo sua natureza bibliográfica e documental, que não permite analisar empiricamente o desempenho de sistemas elétricos específicos diante de eventos reais de crise. Tal limitação, contudo, não compromete a validade das conclusões, mas aponta para a necessidade de pesquisas futuras que investiguem estudos de caso, simulações de cenários extremos e avaliações comparativas entre diferentes modelos de sistemas elétricos e microrredes.

Como perspectivas para pesquisas futuras, sugere-se o aprofundamento de investigações sobre resiliência climática de redes elétricas, estratégias de cibersegurança em infraestruturas críticas, integração regional de sistemas elétricos, impactos sociais da segurança energética e a validação em larga escala de modelos de gestão e operação de microrredes com alta penetração de fontes renováveis e veículos elétricos. Conclui-se, portanto, que fortalecer os sistemas elétricos constitui estratégia central para a segurança energética no século XXI, exigindo visão sistêmica, governança eficaz e compromisso com o desenvolvimento sustentável e socialmente justo, no qual a inovação tecnológica devidamente planejada é uma aliada fundamental.

REVISTA TÓPICOS

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

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (IEA). **World Energy Outlook 2021**. Paris: IEA, 2021.

DANIELSSON, Gabriel Henrique *et al.* Rules-Based Energy Management System for an EV Charging Station Nanogrid: A Stochastic Analysis. **Energies**, v. 18, p. 26, 2025.

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

KUNDUR, Prabha. **Power system stability and control**. New York: McGraw-Hill, 1994.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

LUND, Henrik. Renewable energy systems: a smart energy systems approach. **Energy**, v. 47, n. 1, p. 1–5, 2014.

MO, Yilin *et al.* Cyber–physical security of a smart grid infrastructure. **Proceedings of the IEEE**, v. 100, n. 1, p. 195–209, 2018.

PAIXÃO, Joelson Lopes da; ABAIDE, Alzenira da Rosa. **Planejamento de Sistemas Elétricos de Distribuição: Análise Técnico-Econômica para Melhoria e Expansão**. In: INOVAÇÕES Multidisciplinares na Engenharia. 1. ed. Curitiba: Aurum Editora Ltda, 2025. p. 57-67.

REVISTA TÓPICOS

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

PAIXÃO, Joelson Lopes da; ABAIDE, Alzenira da Rosa. Energia Elétrica e Transição Energética: Uma Análise Técnico-Institucional à Luz da Pesquisa Aplicada. **Revista Tópicos**, v. 3, p. 1-28, 2025a.

PAIXÃO, Joelson Lopes da; ABAIDE, Alzenira da Rosa. Fontes Renováveis e Matriz Energética: Uma Análise Considerando os Avanços em Microrredes e Veículos Elétricos. **Revista Tópicos**, v. 3, p. 1-25, 2025b.

PAIXÃO, Joelson Lopes da; ABAIDE, Alzenira da Rosa. Métricas para a Avaliação do Impacto da Geração Distribuída Fotovoltaica na Curva de Carga. *In: SEMINAR ON POWER ELECTRONICS AND CONTROL - SEPOC*, 13., 2021, Santa Maria. **Anais [...]**. Santa Maria: UFSM, 2021.

PAIXÃO, Joelson Lopes *et al.* EV Fast Charging Microgrid on Highways: A Hierarchical Analysis for Choosing the Installation Site. *In: INTERNATIONAL UNIVERSITIES POWER ENGINEERING CONFERENCE (UPEC)*, 56., 2021. **Proceedings [...]**. [S. l.: s. n.], 2021. p. 1.

PAIXÃO, Joelson Lopes *et al.* Proposal and Simulation of Electrical Impacts of Microgrid for EV Recharging on Highway. *In: CIRED PORTO WORKSHOP: E-mobility and power distribution systems*, 2022, Porto. **Anais [...]**. Porto: CIRED, 2022.

PAIXÃO, Joelson Lopes *et al.* Microgrids For Electric Vehicle Charging: Challenges, Opportunities, And Emerging Technologies. **IOSR Journal of Business and Management (IOSR-JBM)**, v. 27, p. 35-45, 2025.

REVISTA TÓPICOS

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

PANTELI, Mathaios; MANCARELLA, Pierluigi. The grid: stronger, bigger, smarter? Presenting a conceptual framework of power system resilience. **IEEE Power and Energy Magazine**, v. 13, n. 3, p. 58–66, 2015.

PÉREZ-ARRIAGA, Ignacio J. **Regulation of the power sector**. London: Springer, 2014.

SACHS, Ignacy. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2015.

SAUSEN, Jordan Passinato *et al.* Avanços na Tecnologia de Baterias de Íons de Lítio para Mobilidade Elétrica Sustentável: Um Foco na Degradação. In: ENGENHARIAS: desafios e soluções nas múltiplas fronteiras do conhecimento. 1. ed. Ponta Grossa: Atena Editora, 2024. p. 137-149.

SOVACOOOL, Benjamin K. How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions. **Energy Research & Social Science**, v. 13, p. 202–215, 2016.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 16. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

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 EBTT e participou de vários projetos de P&D. Atualmente, é pesquisador e doutorando em Engenharia Elétrica. E-mail: joelson.paixao@hotmail.com

REVISTA TÓPICOS

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

² Doutora em Engenharia Elétrica. Professora titular da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. E-mail: alzenira@ufsm.br