

SMART GRID: MELHORIA NA GESTÃO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA REDE ELÉTRICA

FREITAS, Ana Thalita da Silva Reis¹
Centro Universitário Academia – Uniacademia
TEIXEIRA, Wesley Carminat²
Centro Universitário Academia – Uniacademia

Linha de pesquisa: Sistemas De Energia Elétrica

RESUMO

Este trabalho aborda o tema das Smart Grids, ou redes elétricas inteligentes, com foco na melhoria da gestão e eficiência energética. Será discutido o conceito dessas redes, destacando a necessidade de descarbonização e modernização do sistema elétrico de potência sob uma perspectiva holística. Além disso, será realizada uma avaliação dos avanços nesse campo em diversos países e seus motivadores. Em adição, será concedida uma ênfase especial no contexto brasileiro de forma a revolucionar paradigmas no tradicional sistema elétrico de potência, estabelecendo uma abundância em recursos naturais e de encontro, a disparidade da infraestrutura entre regiões nacionais. Serão explorados o funcionamento das redes elétricas inteligentes e as tecnológicas que trazem embasamento para a implantação, assim como, os agentes envolvidos e os resultados que germinaram de investimentos na área. Em síntese, algumas objeções como dependência de tecnologias estrangeiras e a rápida obsolescência tecnológica, fontes renováveis, embora sustentáveis, possuem intermitência, são barreiras a serem superadas. Entretanto, mesmo diante destes obstáculos, o potencial das redes inteligentes é imenso, visto que, a confiabilidade, redução de custos, desenvolvimento econômico, redução de emissões, são fatores que contribuem para a expansão do sistema. Em suma, seu desenvolvimento e implementação podem transformar a matriz energética brasileira, tornando-a mais sustentável, resiliente e adaptada às necessidades do século 21.

¹ Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Academia - Uniacademia

² Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Academia - Uniacademia.

Palavras-chave: Eficiência energética. Redes elétricas inteligentes. Smart Grid. Sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

As redes elétricas inteligentes, conhecidas como Smart Grids, representam uma evolução na gestão e distribuição de energia, promovendo uma maior eficiência energética. Integrando tecnologias avançadas de comunicação e automação, estas redes modernizam o sistema elétrico de potência, permitindo monitoramento em tempo real, respostas rápidas a interrupções e integração de fontes renováveis. No Brasil, as Smart Grids prometem otimizar o uso dos recursos, mas também trazem desafios. Portanto, as Smart Grids simbolizam o futuro da energia, conjugando inovação e sustentabilidade.

1.1 MOTIVAÇÃO

O surgimento da energia elétrica em 1880 proporcionou uma transformação de toda uma era tecnológica e social, apesar de tal feito, o sistema permaneceu inalterado durante mais de um século. O aumento exponencial da população global corresponde ao aumento proporcional dos desafios energéticos. As mudanças climáticas e a procura de modelos mais eficientes trouxeram consigo novas necessidades, a principal delas é a descarbonização da economia, que aumentará a demanda de eletricidade, aliado a isso a necessidade de gerar energia com fontes limpas e renováveis. Neste novo modelo descarbonizado, setores econômicos como transporte serão totalmente elétricos, além disso o cliente se situa no centro da atividade com maior capacidade de decisão e demanda mais informações e novos produtos e soluções. Por essa razão, é importante implementar uma rede digitalizada e inteligente, que seja capaz de assumir todas essas novas exigências, as *Smart Grids*.

Espera-se que, ao invés de poucos geradores de energia, existam diversos geradores distribuídos por toda rede, o que diminuirá as perdas, já que o caminho

entre fornecedor e consumidor será menor. Além disso, espera-se obter informações, ou seja, saber o que está acontecendo, otimizar e automatizar a rede utilizando os últimos progressos tecnológicos, dessa forma falhas e avarias serão minimizadas.

De forma concisa, o propósito principal deste trabalho é elucidar as principais características das *Smart Grids*, disseminar o conhecimento relativo a esse conceito e estabelecer-se como uma fonte de referência para pesquisas e estudos adicionais. Ademais, devido à sua estrutura apresentada posteriormente e ao seu conteúdo, este trabalho é qualificado como uma revisão bibliográfica.

1.2 ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO

Na primeira seção é apresentada a introdução, motivação e a estrutura do trabalho.

Na segunda é apresentado um histórico do atual funcionamento dos sistemas elétricos de potência e a perspectiva holística do conceito *Smart Grid* de um ambiente conectado, a necessidade de descarbonização da economia e emissões de poluentes.

Na terceira é dada uma visão geral sobre países referências no mundo em projetos na área, seus motivadores e emissões nos últimos anos, compõem os dados os países: EUA, União Europeia (Alemanha, Portugal, Itália) e Japão.

Na quarta seção discorre sobre o cenário da *Smart Grid* no Brasil e seus motivadores. É feita uma linha do tempo que traduz a forma como as redes elétricas inteligentes chegaram aos seus primeiros projetos pilotos iniciados, como se comportaram e qual foi o efeito deles em outras regiões. Ainda na quarta seção são delineadas tanto a estrutura das *Smart Grids* quanto uma análise dos benefícios e malefícios associados à implementação destas redes inteligentes no contexto brasileiro e por fim expostos investimentos e resultados de projetos em andamento.

Na quinta seção é exposto as técnicas e aplicações de como acontece o processo de modernização e tecnologia das *Smart Grids*, quais setores ela impacta, o seu desenvolvimento, e o que compõe esse conceito, também é elucidado os agentes que influenciam na operação dessas redes.

Na sexta seção são levantados os aspectos positivos, visto que as redes elétricas inteligentes são promissoras para o setor energético global.

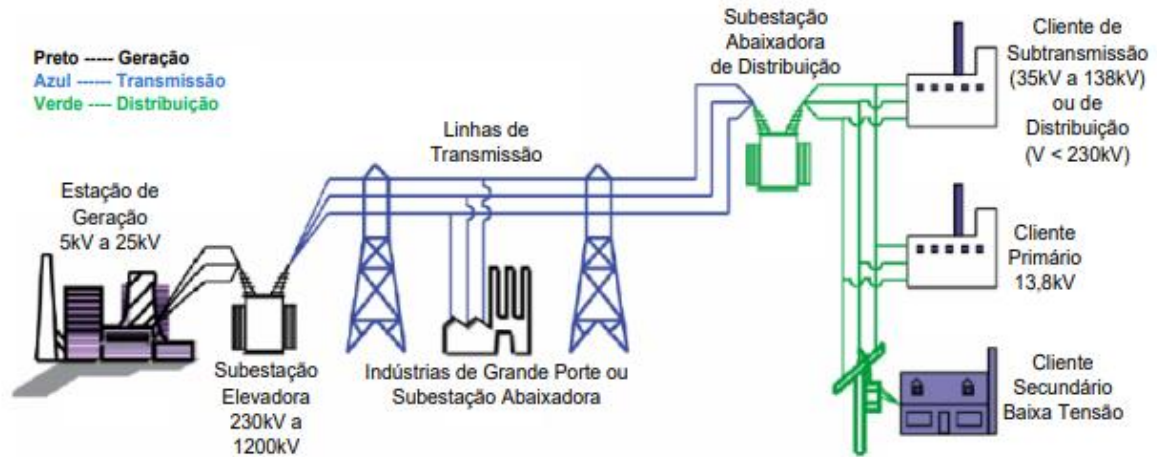
Na sétima seção são levantados os aspectos negativos, as redes ainda estão em desenvolvimento de modo que algumas soluções podem se tornar obsoletas.

Na oitava seção, o presente trabalho é concluído, fornecendo um panorama que sintetiza os principais pontos discutidos ao longo de sua elaboração.

2 HISTÓRIA E PERSPECTIVA HOLÍSTICA DAS REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES (*SMART GRIDS*)

Nos primórdios dos sistemas elétricos, Nikola Tesla defendia que grandes usinas deveriam alimentar os montantes de carga através de longas linhas de transmissão em altos níveis de tensão alternada (Santos, J. D. S *et al*, 2021). Essa proposição foi aceita pelos cientistas da época e preconizado da forma como se conhece. Os sistemas elétricos de potência são compostos por três subsistemas em níveis de tensão inteiramente distintos: geração, transmissão e distribuição. A geração alimenta os centros consumidores através de um sistema malhado de transmissão a altos níveis de tensão. A transmissão transporta até as subestações onde a energia é rebaixada a níveis de tensão admissíveis e entregue ao consumidor (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022). A figura 1 a seguir apresenta topologia usual dos atuais sistemas de potência.

Figura 1 – Estrutura básica do sistema elétrico de potência



Fonte: Leão (2009).³

O setor elétrico como um todo vem passando por uma série de reestruturações nos últimos anos. Essas mudanças estão relacionadas à crescente preocupação ambiental, bem como, o risco de sobrecargas no sistema. Essas interferências podem ocorrer em várias etapas, desde a geração de energia, com problemas de recursos hídricos, até a transmissão e distribuição, com falhas de planejamentos que causam problemas técnicos. A dependência do dimensionamento adequado do sistema de energia é evidente e as *Smart Grids* aparecem como uma alternativa para racionalizar o consumo e aumentar a eficiência energética.

Quando se refere às *Smart Grids*, a figura 2 aborda a progressão dos Sistemas Elétricos de Potência (SEPs) em aspectos tecnológicos. A notável presença de eletrônica digital, inteligência artificial, recursos automatizados e infraestrutura de telecomunicações dentro dos SEPs converge para a criação de um ambiente totalmente integrado, abrangendo todos os agentes envolvidos, consumidores e geradores (Rivera; Esposito; Teixeira, 2013). Essa integração representa a característica central das Redes Elétricas Inteligentes (REIs).

³ LEÃO, R. **GTD – Geração, Transmissão e Distribuição da Energia Elétrica**. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2009. Disponível em: www.dee.ufc.br/~rleao. Acesso em: 12 set. 2023.

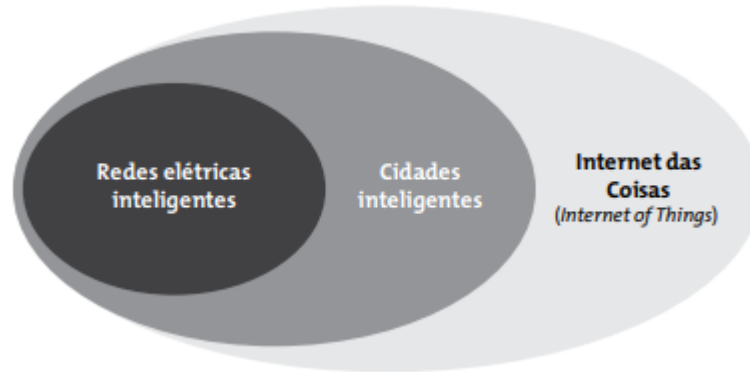
Figura 2 – Smart Grid


Fonte: Silva (2022).⁴

Devido à sua natureza como um conceito e não um produto tangível, a motivação, interpretação, abrangência e desafios das Redes Elétricas Inteligentes variam consideravelmente entre países, regiões e até mesmo entre concessionárias dentro de uma mesma área de concessão (Dutra *et al*, 2013). Em linhas gerais o principal objetivo da transformação dos sistemas elétricos atuais em redes elétricas inteligentes consiste em otimizar a produção, distribuição e o consumo de energia, promovendo a inclusão dos fornecedores e dos próprios consumidores a rede, uma vez que, a regência e o monitoramento da energia ofertada com a proposta de uma rede elétrica e uma sociedade digital em um ambiente totalmente interativo, com ambientes onde todos objetos possam ser identificados, reconhecidos e endereçados as chamadas Internet das Coisas (IoT), conforme figura 3 (Rivera; Esposito; Teixeira, 2013).

⁴ SILVA, K. L. da. **Pesquisa sobre os principais métodos de aterramento na instalação de sistemas fotovoltaicos**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Formiga, 2022. Disponível em: https://www.formiga.ifmg.edu.br/documents/2022/Biblioteca/KRISLLENY_SILVA_FINAL.pdf. Acesso em: 14 set. 2023.

Figura 3 – Redes elétricas inteligentes integrada



Fonte: Rivera; Esposito; Teixeira (2013).⁵

3 UMA AVALIAÇÃO GERAL DAS REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES NO MUNDO

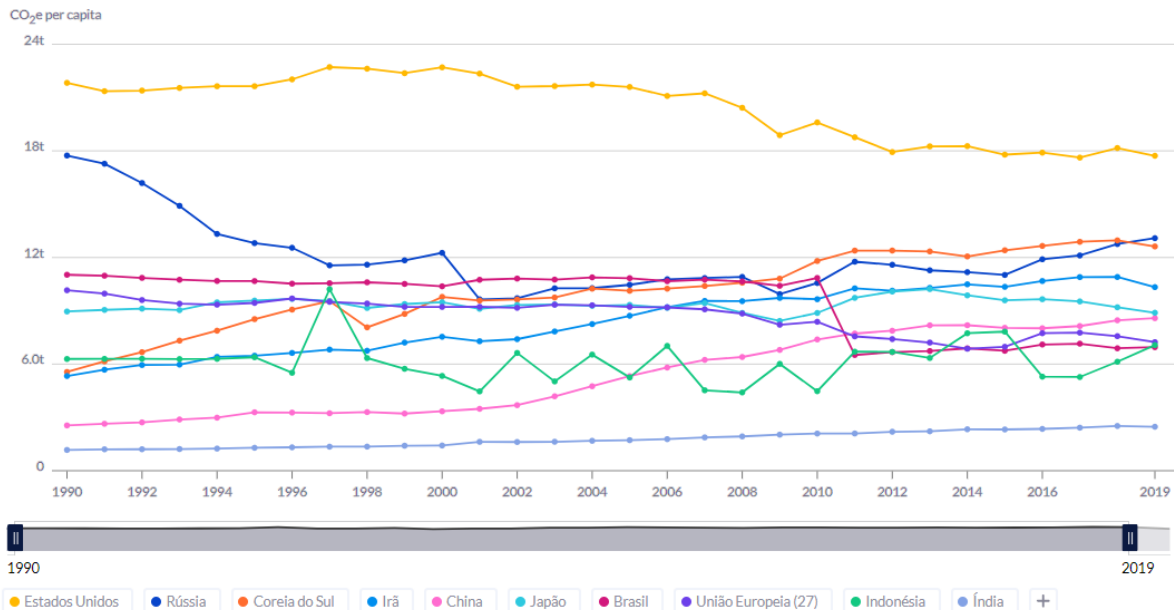
Não há dúvidas que as REIs e seus componentes são um dos temas de maior discussão no cenário internacional, ao redor do mundo elas estão em diferentes estágios, visto que, cada região possui seus motivadores diferentes específicos em sua implementação. Em países europeus, estão sendo observados projetos de infraestrutura instaurados, que incluem medição avançada e geração distribuída. Essas estruturas constituem os primeiros passos em direção a uma futura rede de energia elétrica inteligente. Além disso, China, Japão entre outros, estão planejando investimentos de médio prazo nessa área. Nesse contexto, é relevante analisar e comparar alguns projetos já implementados ou atualmente em desenvolvimento ao redor do mundo.

De início, é importante compreender a responsabilidade de cada país nas mudanças climáticas se tratando das emissões de gases de efeito estufa (GEE), e o empenho que deverá ser aplicado para mudança desse cenário. Medir as emissões em relação à sua população fornece uma perspectiva útil conforme figura 4. A partir

⁵ RIVERA, R.; ESPOSITO, A. S.; TEIXERA, I. **Redes elétricas inteligentes (smart grid):** oportunidade para adensamento produtivo e tecnológico local. Banco Nacional do Desenvolvimento - BNDES, 2013. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2927/1/RB%2040%20Redes%20el%C3%A9tricas%20inteligentes_P.pdf. Acesso em: 30 ago. 2023.

de dados do Climate Watch – uma plataforma online de dados abertos (Vigna; Friedrich, 2023).

Figura 4 – Emissões per capita dos 10 maiores emissores 1990 a 2019

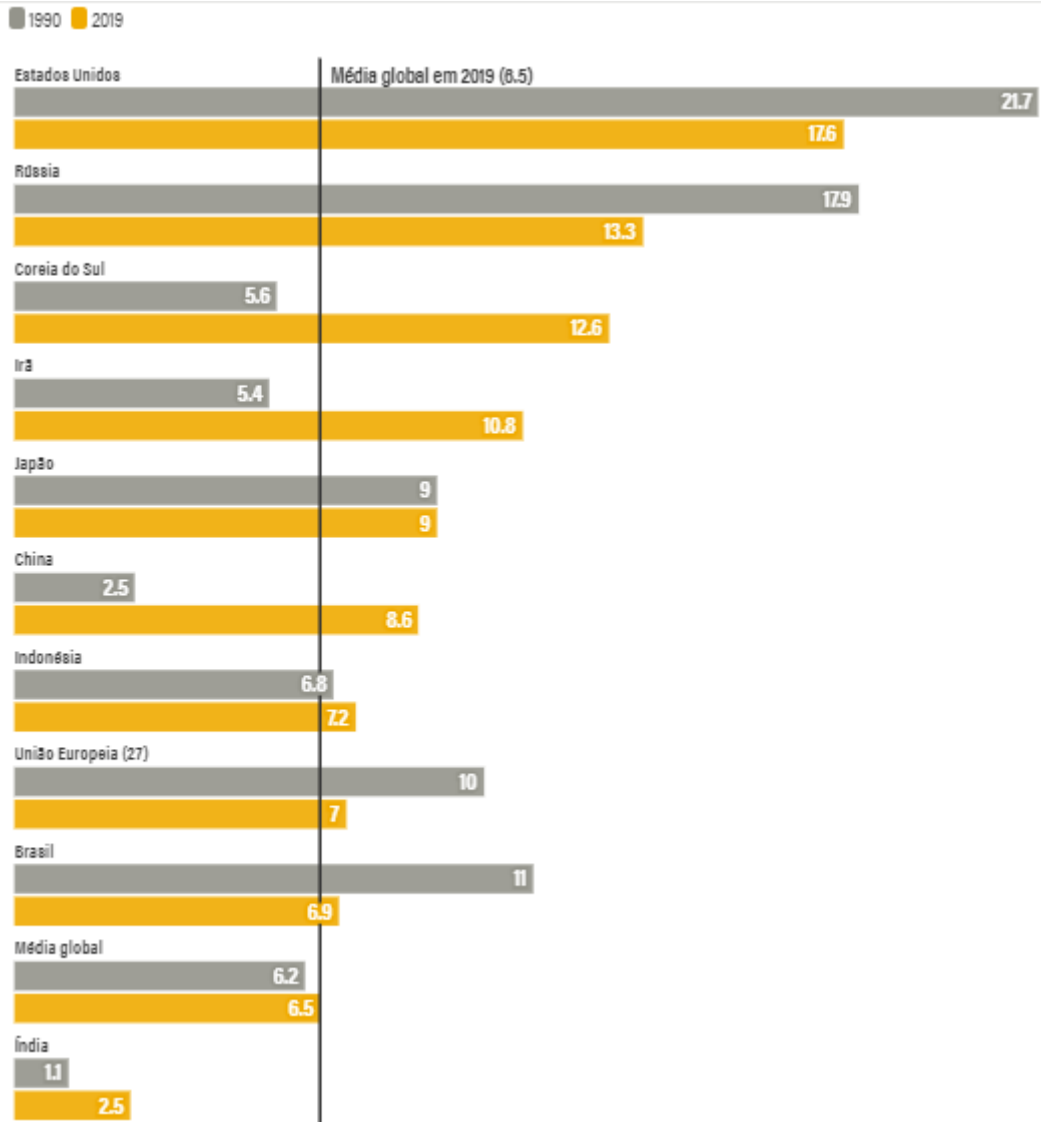


Fonte: Climate Watch (2023).⁶

Historicamente, os Estados Unidos e a União Europeia são os principais emissores. Há uma relação entre renda e emissões, em geral à medida que aumentam o crescimento e a industrialização, o mesmo acontece com o consumo e estilos de vida intensos em energia. A figura 5 apresenta uma análise comparativa entre o histórico e cenário mais atual de emissões GEE (Vigna; Friedrich, 2023).

⁶ CLIMATE WATCH. 2022. Washington, DC: Instituto de Recursos Mundiais. Disponível em: https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2020&start_year=1990. Acesso em: 02 set. 2023.

Figura 5 – Comparativo emissões per capita dos 10 maiores emissores 1990 a 2019



Fonte: Vigna; Friedrich (2023).⁷

3.1. ESTADOS UNIDOS (EUA)

Nos EUA cada distribuidora é livre para escolher sua tecnologia, de acordo com a sua região, e, com isso há grandes variações nas *Smart Grids*. Sendo o maior

⁷ VIGNA, L.; FRIEDRICH, J. **9 gráficos para entender as emissões per capita de gases de efeito estufa dos países**, World Resources Institute – WRI, 2023. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/graficos-emissoes-per-capita-gases-de-efeito-estufa-paises>. Acesso em: 02 out. 2023.

produtor de emissão de CO₂ no mundo, o país possui projetos com desenvolvimento notável na área.

Assim, para Souza, Bonatto e Ribeiro (2022),

A implementação da tecnologia Smart Grid no mercado americano foi grandemente impulsionada a partir de 2009. O congresso americano aprovou o American Recovery and Reinvestment Act (ARRA), que consistiu de um pacote econômico com o objetivo de superar o período de recessão americana iniciado em 2007/2008. O governo concedeu cifras perto de US\$ 3,4 bilhões para projetos de redes inteligentes. (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022, pp. 220-221).

No estado de Ohio já foram instalados mais de 110 mil medidores AMI⁸ gerando um custo de US\$ 21 milhões. No Texas possui mais de 2.130.000 medidores AMI com uma estrutura que liga esses medidores a uma central com troca de dados. Os principais agentes que fomentam um viés positivo e ampliam as REIs no país seguem relacionados na figura 6 (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022).

⁸ AMI - Advanced Metering infrastructure - Infraestrutura de Medição Avançada

Figura 6 – Motivadores Redes Elétricas Inteligentes nos EUA



Fonte: Souza; Bonatto; Ribeiro (2022).⁹

3.2. UNIÃO EUROPEIA

Diversos países que compõem a União Europeia estão com projetos em andamento e em desenvolvimento das REIs, sendo a busca por energia limpa o principal motivador, conforme ilustrado na figura 7.

⁹ SOUZA, A. C. Z.; BONATTO, B. D.; RIBEIRO, P. F. **Integração de Renováveis e Redes Elétricas Inteligentes**. Rio de Janeiro: Interciência, 2022.

Figura 7 – Motivadores Redes Elétricas Inteligentes na União Europeia



Fonte: Souza; Bonatto; Ribeiro (2022).¹⁰

Alguns projetos de grande relevância estão sendo conduzidos nos seguintes países.

3.2.1 Alemanha

Existem muitos projetos de *Smart Grids* na Alemanha, cujo objetivo é reduzir a emissão de dióxido de carbono (CO₂) por meio da integração de energia renovável. A inserção de medidores AMI está prevista. Na cidade de Mannheim, todos os 1500 clientes estão conectados a uma rede inteligente monitorada. Eles fornecem dados de consumo de energia e podem programar determinados eletrodomésticos para

¹⁰ SOUZA, A. C. Z.; BONATTO, B. D.; RIBEIRO, P. F. **Integração de Renováveis e Redes Elétricas Inteligentes**. Rio de Janeiro: Interciência, 2022.

operarem quando o suprimento de energia está mais alto e a energia mais barata (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022).

Segundo Souza, Bonatto e Ribeiro (2022),

No período de 2016 a 2026, a Alemanha planeja investir 23,6 bilhões de dólares em Smart Grids. Os dois grandes pilares desse investimento passam pela geração renovável e a eficiência energética. Até 2050, 80 % da energia consumida no país será proveniente de fontes renováveis de energia. (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022, p. 228).

É necessário ressaltar que no ano de 2016 a geração de energia renovável era de 32% na Alemanha.

3.2.2 Portugal

Em Portugal dois projetos promissores que podem ser mencionados são o PV-NET e o MOBI. O primeiro voltado a desenvolver uma política energética para promover o uso de energias renováveis e obter uso eficiente de energias fotovoltaicas. O segundo respectivamente tinha objetivo de melhorar as condições de eletromobilidade para expandir o uso de veículos elétricos.

De acordo com Souza, Bonatto e Ribeiro (2022, p. 230) “No ano de 2014 a produção de energia em Portugal foi dada por 23,03 % de carvão, 12,54 % de gás natural, 3,16 % de petróleo, 30,73 % de renováveis, e 30 % hidrelétrica”.

Como mencionado país tem um bom aproveitamento dos seus recursos renováveis e possui projetos voltados para a área *Smart Grid*.

3.2.3 Itália

Na Itália o projeto RE-SEETies tinha objetivo de melhorar a eficiência do uso de recursos das cidades, mas o principal destaque foi para o projeto Internet of Energy que tem objetivo de conectar à Internet às redes elétricas facilitando a comunicação para otimização do despacho de energia. “No ano de 2014 a produção de energia na Itália foi de 16,77 % de carvão, 34,12 % de gás natural, 5,36 % de petróleo, 22,03 % de renováveis, e 20,65 % de hidrelétricas”. (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022, p. 230).

O país também está com diversos projetos prósperos, espalhados em andamento.

3.3. JAPÃO

O Japão é um país culturalmente muito organizado e voltado para a sustentabilidade que já passou por desastres. O Japão, com sua forte tradição em inovação tecnológica, está na vanguarda do desenvolvimento e implementação de redes elétricas inteligentes. Essas redes, integradas com sensores, comunicações avançadas e controles, são projetadas para uma gestão otimizada da energia, promovendo uma distribuição eficiente e sustentável, a figura 8 ilustra os principais motivadores para o Japão (Hossain; Han; Poor, 2012).

Figura 8 – Motivadores Redes Elétricas Inteligentes no Japão



Fonte: Souza; Bonatto; Ribeiro (2022).¹¹

¹¹ SOUZA, A. C. Z.; BONATTO, B. D.; RIBEIRO, P. F. **Integração de Renováveis e Redes Elétricas Inteligentes**. Rio de Janeiro: Interciência, 2022.

Após o devastador terremoto e tsunami em 2011, que resultou no desastre nuclear de Fukushima, o Japão se viu confrontado com a necessidade urgente de visitar e diversificar suas estratégias de energia. As redes inteligentes surgiram como um componente crucial para reestruturar a matriz energética do país, ao mesmo tempo em que se buscava uma maior integração de fontes renováveis (Funabashi, 2011).

Conforme Souza, Bonatto e Ribeiro (2022),

O país tem plano de abastecê-lo completamente com energias renováveis até 2040, principalmente com energia solar e eólica. Desde o acidente em Fukushima, as 54 usinas nucleares existentes foram fechadas. A implantação de cidades inteligentes pode ser vista no projeto Fujisawa SST. Nessa cidade com 200 mil metros quadrados, cerca de 3 mil moradores e em torno de 1 000 casas, todas com painéis solares que visam garantir a energia necessária para os moradores, sendo as sobras armazenadas em baterias (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022, p. 222).

Caracteristicamente, as redes inteligentes japonesas são extremamente reconhecidas pelos seus sistemas avançados de medição. Esses sistemas, que fornecem dados em tempo real sobre o consumo de energia, possibilitam que os fornecedores de energia façam ajustes instantâneos na geração e distribuição, alinhando-a estreitamente com a demanda e minimizando ineficiências (Kobayashi, 2013).

Neste contexto, o Japão tem feito progressos notáveis na integração de fontes renováveis, como solar e eólica, à sua rede principal. Com as capacidades avançadas de monitoramento e controle das redes inteligentes, o país tem sido capaz de gerenciar a volatilidade associada a essas fontes de energia e garantir uma entrega de energia mais estável (Yoshida; Kakimoto, 2015).

Por sua vez, a transição para redes inteligentes também resultou em ganhos tangíveis em eficiência energética no Japão. Estima-se que o uso desta tecnologia tenha contribuído significativamente para a redução dos custos de eletricidade e para uma gestão mais eficaz dos recursos energéticos (Hayashi; Ieda, 2017).

No entanto, o caminho para a plena implementação das redes inteligentes no Japão não está isento de desafios. Problemas como a interoperabilidade entre

sistemas e a segurança da infraestrutura de comunicação ainda são obstáculos que o país enfrenta. Contudo, dada a sua resiliência e comprometimento com a inovação, o futuro das redes elétricas inteligentes no Japão parece promissor (Nagata; Sasaki, 2018).

O Japão, refletindo sua busca contínua por inovação e excelência, está se posicionando como líder global na adoção e implementação de redes inteligentes. (Kaneko; Fukui, 2019).

4 REDES ELETRICAS INTELIGENTES NO BRASIL

A evolução da infraestrutura elétrica no Brasil é uma jornada intrincada que remonta ao final do século XIX. Com a instalação da primeira linha de transmissão em 1883, o país iniciou seu caminho no setor elétrico, abrindo as portas para que viria a ser uma revolução na maneira como a energia é gerenciada e distribuída (Santos, 2008).

No entanto, foi apenas no final do século XX que o conceito de redes elétricas inteligentes ou *Smart Grids* começou a ganhar destaque no cenário nacional (Costa, B. R., 2012).

O início do século XXI trouxe consigo uma série de desafios para o setor elétrico brasileiro. A crescente demanda por eletricidade, impulsionada pelo desenvolvimento econômico e pela expansão urbana, aliada à necessidade de integrar fontes renováveis à rede, tornou-se imperativo compensar a infraestrutura elétrica tradicional. As redes elétricas inteligentes surgiram como uma resposta a esses desafios (Barbosa, 2015).

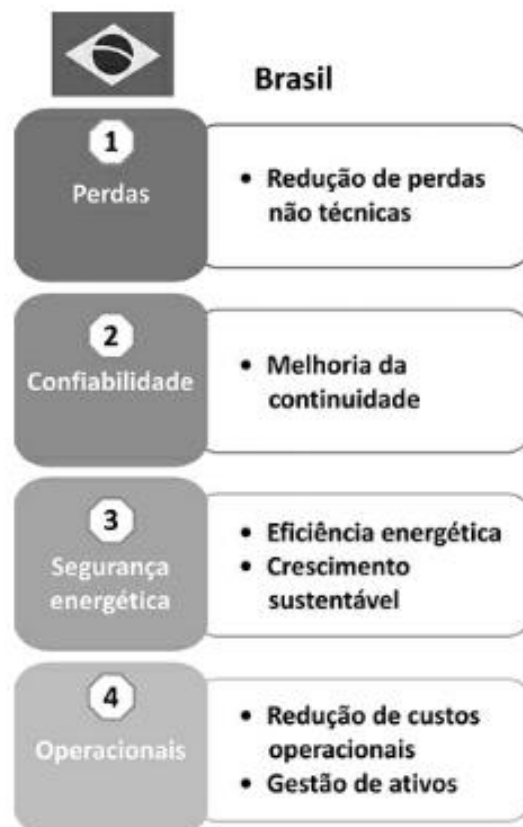
Em 2008, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) lançou uma série de iniciativas específicas para a promoção de tecnologias inteligentes no setor elétrico. Essas iniciativas, que incluíam desde incentivos fiscais até a realização de projetos-piloto, visaram acelerar a adoção de redes elétricas inteligentes no país (Aneel, 2010).

Desde então, várias cidades brasileiras começaram a implantar projetos-piloto de *Smart Grid*. Parintins, uma cidade localizada no estado do Amazonas, por exemplo, tornou-se palco do primeiro projeto de *Smart Grid* em uma região isolada. Esta

iniciativa, que visava melhorar a distribuição de energia na cidade e reduzir as perdas técnicas, serviu como um marco no desenvolvimento das redes elétricas inteligentes no Brasil (Oliveira, 2013).

Com o sucesso de projetos como o de Parintins, outras regiões podem se interessar pela tecnologia. Grandes metrópoles como São Paulo e Rio de Janeiro lançaram seus próprios projetos, não apenas a otimização da distribuição de energia, mas também a integração de fontes renováveis, como solar e eólica, ao *grid* (Martins, 2016). A figura 9 ilustra os principais motivadores para as REIs no Brasil.

Figura 9 – Motivadores Redes Elétricas Inteligentes no Brasil



Fonte: Souza; Bonatto; Ribeiro (2022).¹²

A implementação das redes elétricas inteligentes abriu caminho para o desenvolvimento do mercado de medidores inteligentes no Brasil. Estes dispositivos,

¹² SOUZA, A. C. Z.; BONATTO, B. D.; RIBEIRO, P. F. **Integração de Renováveis e Redes Elétricas Inteligentes**. Rio de Janeiro: Interciência, 2022.

que permitem a leitura remota do consumo de eletricidade e fornecem dados em tempo real para os consumidores, são peças consideradas essenciais para a otimização do consumo de energia. (Silva, 2017).

Com a REIs, o consumidor não é mais apenas um receptor passivo de energia. Ele tem a capacidade de gerar sua própria eletricidade, através de sistemas fotovoltaicos por exemplo, e até mesmo de vender o excedente para a rede, tornando-se um "prosumidor" (produtor e consumidor). Essa mudança de papel fortalece o consumidor e democratiza a geração de energia (Souza, 2021).

Outro benefício é a capacidade das *Smart Grids* de integrar diversos pontos de geração, sejam eles grandes usinas ou pequenos sistemas fotovoltaicos residenciais, tem o potencial de revolucionar a maneira como a energia é gerada e consumida no Brasil. O modelo centralizado tradicional, com grandes usinas fornecendo energia para milhões de consumidores, pode dar lugar a um modelo mais descentralizado, onde cada consumidor também pode ser um gerador (Oliveira, 2019).

Além disso, a digitalização do setor elétrico também oferece oportunidades óbvias para melhorar a eficiência operacional das distribuidoras. Sistemas avançados de monitoramento e controle permitem uma resposta mais rápida a falhas, minimizando os tempos de interrupção e garantindo um fornecimento de energia mais confiável (Dantas, 2019).

A convenção das redes elétricas inteligentes no Brasil representa mais do que uma simples integração de tecnologias ao setor elétrico; ela simboliza uma mudança de paradigma na maneira como o país percebe e gerencia sua matriz energética. A migração gradual de uma infraestrutura elétrica tradicional para uma infraestrutura inteligente reflete uma visão futurista, comprometida com a eficiência, a sustentabilidade e a resiliência (Ferreira, 2020).

Uma das maiores vantagens das redes elétricas inteligentes é a capacidade de armazenar energia durante períodos de alta geração e liberá-la quando a geração é baixa. Isto é particularmente relevante para fontes como solar e eólica, que são intermitentes por natureza. Souza, Bonatto e Ribeiro (2022) destacam que o desenvolvimento de tecnologias de armazenamento de energia, combinado com sistemas de controle avançados, pode mitigar os desafios da intermitência e garantir um fornecimento constante de energia.

As REIs ainda possuem capacidade de se adaptar às mudanças rápidas na demanda e oferta de energia. Em um país como o Brasil, onde a geração de energia renovável, especialmente solar e eólica, está crescendo rapidamente, isso é crucial. Em dias ensolarados ou ventosos, a geração pode exceder a demanda, enquanto em dias nublados ou sem vento, pode haver déficits. As redes inteligentes, com sua capacidade de monitoramento em tempo real, podem equilibrar essas flutuações, garantindo um fornecimento constante de energia (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022).

À medida que o Brasil investe e adapta sua infraestrutura elétrica às redes inteligentes, os impactos socioeconômicos são palpáveis. A transição para um sistema mais conectado e eficiente tem o potencial de criar milhares de empregos, tanto na implantação de novas tecnologias como na manutenção e operação desses sistemas avançados. O Brasil tem a capacidade de atrair mais investimentos internacionais, especialmente em projetos relacionados à energia renovável. (Ferreira, 2020; Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022).

Além da atração de capital, o desenvolvimento de redes elétricas inteligentes no Brasil tem um impacto significativo na formação acadêmica e profissional. Universidades e instituições de ensino têm investido em cursos e programas de formação voltados para as novas demandas do setor elétrico. Esta evolução tem o potencial de posicionar o Brasil como referência em pesquisa e desenvolvimento na área, atraindo talentos e promovendo intercâmbios com instituições internacionais de renome (Mendes, 2021).

No entanto, uma jornada para a plena implementação das redes inteligentes no Brasil ainda enfrenta obstáculos. Questões como a padronização tecnológica, a formação de profissionais envolvidos no setor e a necessidade de investimentos robustos são desafios que ainda precisam ser superados (Rodrigues, 2018).

Juntamente com essas oportunidades vêm riscos associados, principalmente em termos de segurança cibernética. À medida que a infraestrutura elétrica se torna mais conectada e digitalizada, ela também se torna mais vulnerável a ataques cibernéticos. Portanto, é imperativo que medidas robustas de segurança sejam rompidas para proteger a rede contra ameaças potenciais (Ribeiro, 2020).

Outra área que merece atenção é a capacitação e formação de profissionais especializados em redes elétricas inteligentes. Com a demanda crescente por tais

tecnologias, há uma necessidade urgente de construção de profissionais para projetar, implementar e gerenciar esses sistemas complexos. As instituições de ensino e empresas do setor elétrico devem trabalhar em conjunto para garantir que a força de trabalho seja específica para os desafios do futuro (Miranda, E. N., 2021).

A virada do milênio, no entanto, trouxe novos desafios. Com a matriz energética brasileira consolidada e grande parte da população com acesso à eletricidade, a questão passou a ser como tornar essa energia mais limpa e eficiente. A conscientização sobre as mudanças climáticas e a necessidade de fontes de energia mais sustentáveis fez com que o Brasil começasse a olhar para as energias renováveis com maior interesse, especialmente a solar e a eólica (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022).

Na primeira metade do século XX, a ênfase estava na expansão da rede. Com um país de dimensões continentais e uma população em crescimento, o desafio era garantir que a energia chegasse a todos os cantos do Brasil. Nessa época, as hidrelétricas ganharam destaque, e grandes empreendimentos foram realizados para garantir a geração de energia em escala (Silva, 1990). Atualmente a transição para redes inteligentes não é apenas uma questão tecnológica ou econômica. Ela também é uma questão social.

4.1. INVESTIMENTOS E RESULTADOS DAS REDES ELÉTRICAS NO BRASIL

À medida que o Brasil avança na direção de um sistema de energia mais sustentável e eficiente, há uma crescente demanda por informações e participação nas decisões que moldam o futuro energético do país. (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022).

Segundo dados da ANEEL, até o final de 2021, cerca de 15% das cidades brasileiras já contavam com alguma forma de infraestrutura relacionada às *Smart Grids*. Isso representa um aumento significativo em relação a 2018, quando este número era de apenas 8% (Aneel, 2022).

O Sudeste, por ser o centro econômico do Brasil, tem liderado essa transição. Um relatório recente mostrou que o estado de São Paulo, por exemplo, já tem 25%

de sua rede elétrica operando com tecnologias inteligentes, um marco notável, considerando a vastidão e complexidade de seu sistema energético (Oliveira, 2020).

No projeto “Cidades do Futuro”, foram gastos no total cerca de 45 milhões por meio de Programa de Pesquisa e Desenvolvimento e do Programa Eficiência Energética, ambos da Agência Nacional de Energia Elétrica que comportava a tecnologia FLISR¹³ sistema que permite localização de faltas, o isolamento e restabelecimento do sistema de distribuição automaticamente, na solução Controle Volt-Var¹⁴ que contempla automação de bancos capacitores, foi implantada rede multisserviços para suporte a automação da distribuição e inserção de painéis fotovoltaicos conectados à rede.

Nesse contexto, destaca-se segundo Souza, Bonatto e Ribeiro (2022),

Lançado em dezembro de 2009, na cidade de Sete Lagoas, a 70 quilômetros da capital Belo Horizonte, o projeto “Cidades do Futuro” tem a missão de desenvolver um modelo de redes elétricas inteligentes, servindo como um laboratório na tomada de decisão da referida concessionária, auxiliando na tomada de decisão da instalação de outros projetos da Cemig. Durante quase cinco anos de trabalho foram instalados 4 200 medidores inteligentes integrados ao centro de medição da Cemig. (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022 p. 207).

Estas estatísticas também refletem os investimentos robustos feitos na área. Conforme apontado por Souza, Bonatto e Ribeiro (2022), entre 2019 e 2022, o Brasil investiu aproximadamente R\$ 7 bilhões em infraestrutura e tecnologias relacionadas às redes elétricas inteligentes. Estes investimentos não se limitam apenas à implementação direta, mas também em pesquisa, desenvolvimento e formação de profissionais qualificados para o setor, as regiões que adotaram redes inteligentes tiveram um aumento de 20% na integração de fontes renováveis no sistema, otimizando a geração e distribuição de energia limpa (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022).

Dos benefícios tangíveis para o consumidor, uma pesquisa realizada em 2021 revelou que, em regiões onde as *Smart Grids* foram implementadas, houve uma redução média de 15% no consumo de energia, refletindo diretamente na conta de luz do consumidor final (Ferreira, 2021).

¹³ FLISR - Fault Location, Isolation, and Service Restoration.

¹⁴ Controle Volt/VAr ou VVC ou volt/var control.

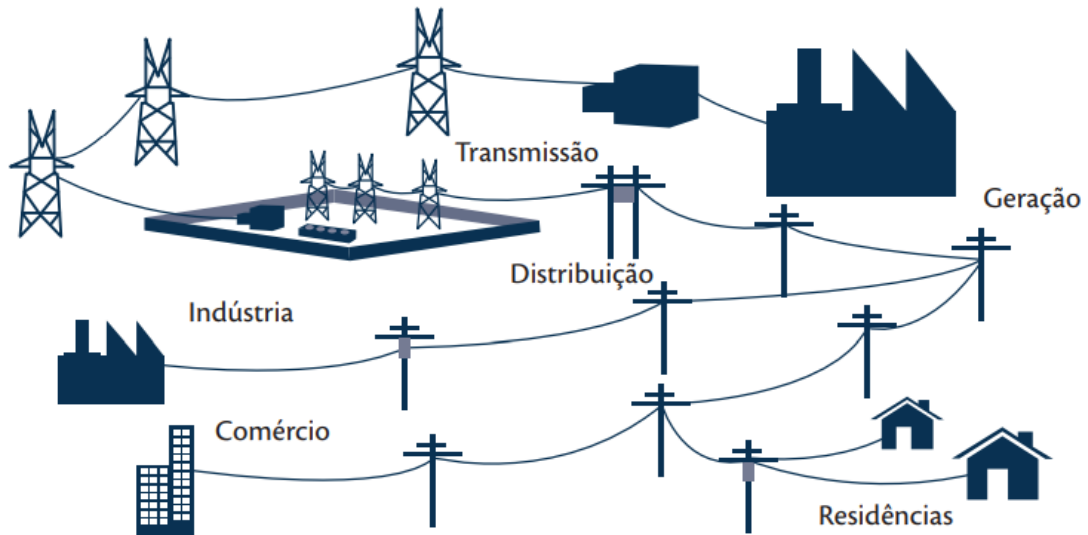
Apesar desses desafios, o futuro das redes elétricas inteligentes no Brasil parece promissor. Com o apoio do governo, do setor privado e da sociedade civil, o país está se posicionando como um líder em inovação energética na América Latina. A combinação de tecnologia, sustentabilidade e eficiência, marca registrada das redes inteligentes, é vista como fundamental para garantir a segurança energética do Brasil nas próximas décadas (Almeida, 2019).

Essa expansão, no entanto, ainda enfrenta desafios. Um dos principais é a necessidade de regulamentações claras e incentivos fiscais que estimulem ainda mais o investimento em *Smart Grids*. O Brasil, com sua extensão territorial e diversidade regional, necessita de políticas específicas que atendam às particularidades de cada região (Silva, 2020).

5 REDES ELETRICAS INTELIGENTES: COMO FUNCIONAM?

Uma estrutura elétrica de alta capacidade engloba uma intrincada rede voltada para a entrega de eletricidade, seguindo critérios de precisão e padrão, equidade nas taxas e responsabilidade ecológica e comunitária. Tal estrutura é basicamente formada por produção, canais de transmissão, sistemas de distribuição e receptores da eletricidade. A produção ocorre, em sua maioria, em amplas estações ligadas aos canais de transmissão, enquanto os sistemas de distribuição abastecem clientes nas áreas industriais, comerciais e domésticas, conforme representado pelo Centro Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) na figura 10 (Cgee, 2012).

Figura 10: Rede elétrica convencional

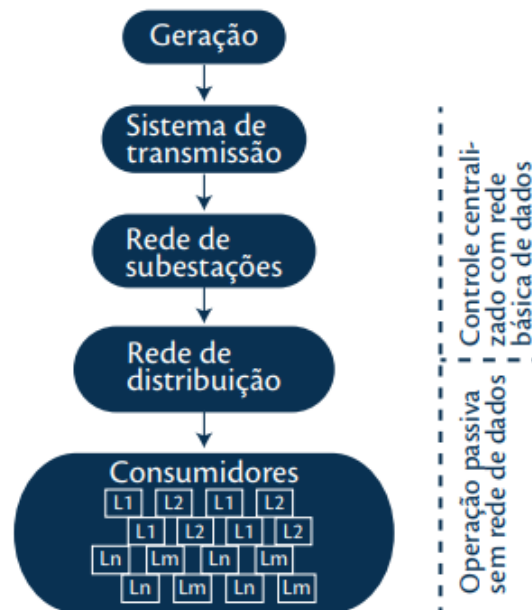


Fonte: CGEE (2012).¹⁵

Em uma configuração piramidal, o ápice supre eletricidade para inúmeros usuários localizados no seu nível mais baixo, como demonstrado na figura 11 (Cgee, 2012). A transmissão de eletricidade ocorre em um único sentido, e os usuários agem basicamente como entidades receptoras no processo de geração de eletricidade. Devido a determinados fatores técnicos em certas situações e motivos financeiros em muitas outras, o setor elétrico opera com preços preestabelecidos e restrições em informações atualizadas acerca da administração da rede e da demanda.

¹⁵ CGEE (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos). **Redes Elétricas Inteligentes:** contexto nacional. Brasília: Corporate Financial Center, 2012.

Figura 11: Sistema existente



Fonte: CGEE (2012).¹⁶

À medida que o consumo de eletricidade se expande, registrando uma média de aproximadamente 4% ao ano no Brasil e 2% ao ano globalmente, de acordo com as estatísticas da Secretaria de Energia e Mineração, é inegável que as administrações globais estejam em busca de soluções para suprir essa demanda de forma segura e ecológica. Modernizar, tornar confiável e democratizar o acesso à rede elétrica é crucial para o progresso social e econômico. No contexto dos desafios contemporâneos, é imperativo que os sistemas elétricos apoiem a integração de fontes de energia renováveis e sejam equipados com capacidades avançadas para uma gestão mais eficaz, operação otimizada, diminuição de falhas e estreitamento do relacionamento com os clientes. A atualidade exige inovações contínuas neste domínio (Pereira *et al.*, 2012).

¹⁶ CGEE (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos). **Redes Elétricas Inteligentes:** contexto nacional. Brasília: Corporate Financial Center, 2012.

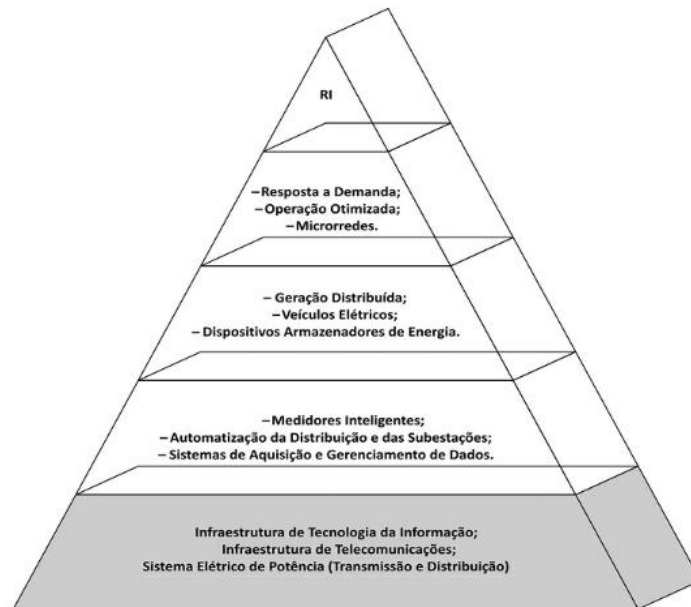
O futuro aponta para um paradigma energético em que conviverão tanto a geração de energia centralizada quanto a descentralizada. Um grande número de indivíduos poderá gerar sua própria eletricidade, assumindo o papel duplo de produtor e usuário, conhecidos como "prosumidores". O setor energético terá que se adaptar a uma combinação de grandes centrais de geração e pequenos geradores descentralizados, incorporando ainda práticas de uso eficiente da energia e aprimorando a satisfação das necessidades energéticas. Integrar fontes renováveis, especialmente em redes de baixa tensão, adiciona uma camada extra de complexidade à gestão da rede.

Com a evolução tecnológica, o sistema elétrico global enfrentará transformações notáveis nos próximos tempos. A fusão com as tecnologias de informação e comunicação (TICs) será inevitável. Além disso, o sistema precisa se adaptar ao surgimento de carros elétricos, ao crescimento das fontes de geração descentralizada e às diversas iniciativas para otimização do consumo de energia. Esta nova abordagem evolutiva moldará o sistema em uma rede mais avançada, comumente referida como *Smart Grids* (Redes Inteligentes).

A transição para Redes Inteligentes, visando modernizar o setor energético, é um tópico de discussão global. Esse modelo tecnológico, com sua variedade de conceitos, abrange uma ampla gama de tecnologias, dispositivos e fabricantes, prometendo trazer inúmeros benefícios para toda a cadeia de fornecimento e uso de eletricidade.

Nesse sentido, a evolução tecnológica tem revolucionado diversos setores da economia, e o setor elétrico não é exceção. Com a ascensão das redes elétricas inteligentes, conhecidas como *Smart Grids*, a maneira como a energia é gerada, distribuída e consumida está passando por transformações significativas no Brasil (Silva, 2019). A figura 12 a seguir ilustra os passos que compreendem o caminho em direção ao conceito de Rede Inteligente.

Figura 12 – Processo de desenvolvimento das Redes Inteligentes



Fonte: Souza; Bonatto; Ribeiro (2022).¹⁷

As redes elétricas inteligentes são sistemas que usam tecnologias digitais para monitorar e otimizar a produção e entrega de eletricidade. Estas redes têm a capacidade de integrar ações dos usuários finais para garantir um uso eficiente, sustentável e seguro da eletricidade. A ideia é promover uma comunicação bidirecional entre a empresa fornecedora e o consumidor (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022).

Este conceito pode parecer abstrato, mas ao observarmos seus componentes, torna-se mais claro. Segundo Souza, Bonatto e Ribeiro (2022), as redes inteligentes são compostas por diversos dispositivos interligados, como medidores inteligentes, sensores, unidades de comunicação e controle e softwares de gestão que coletam e analisam dados em tempo real. Esta interconexão e troca de informações possibilita a adaptação e otimização da rede conforme as demandas (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022).

¹⁷ SOUZA, A. C. Z.; BONATTO, B. D.; RIBEIRO, P. F. **Integração de Renováveis e Redes Elétricas Inteligentes**. Rio de Janeiro: Interciência, 2022.

A primeira tecnologia que propicia a inserção de uma *Smart Grid* é uma infraestrutura automática e os medidores inteligentes (AMI), esse componente eletrônico representado na figura 13 é fundamental, pois permite que os consumidores e fornecedores monitorem o consumo de energia em tempo real. Este acompanhamento possibilita uma gestão mais eficiente do consumo, podendo, inclusive, programar o uso de determinados aparelhos em horários de menor demanda, reduzindo custos (Barreto, 2020).

Figura 13 – AMI Medidor Inteligente



Fonte: UNIVERCEMIG (2019).¹⁸

As principais características desse medidor e o registro em KWh, medição bi direcional, alarme anti fraude, corte e religa remotos, sinalização de falta de energia e modulo de comunicação que enviam os dados. A estrutura do AMI consiste em medidores capazes de comunicar entre si, formando uma rede que comunicam com um concentrador, figura 14, que envia os dados para um sistema de gerenciamento que permite o controle e monitoramento da distribuição de energia e posteriormente

¹⁸ UNIVERCEMIG. **UniverCemig**: Medidores inteligentes e a infraestrutura de medição avançada - ami, 2019. Disponível em: <https://univercemig.cemig.com.br/>. Acesso em: 25 set. 2023.

para um sistema de comunicação computacional, que inclui redes de fibra óptica, e redes sem fio como 4G/5G. (Univercemig, 2019).

Figura 14– Concentrador



Fonte: UNIVERCEMIG (2019).¹⁹

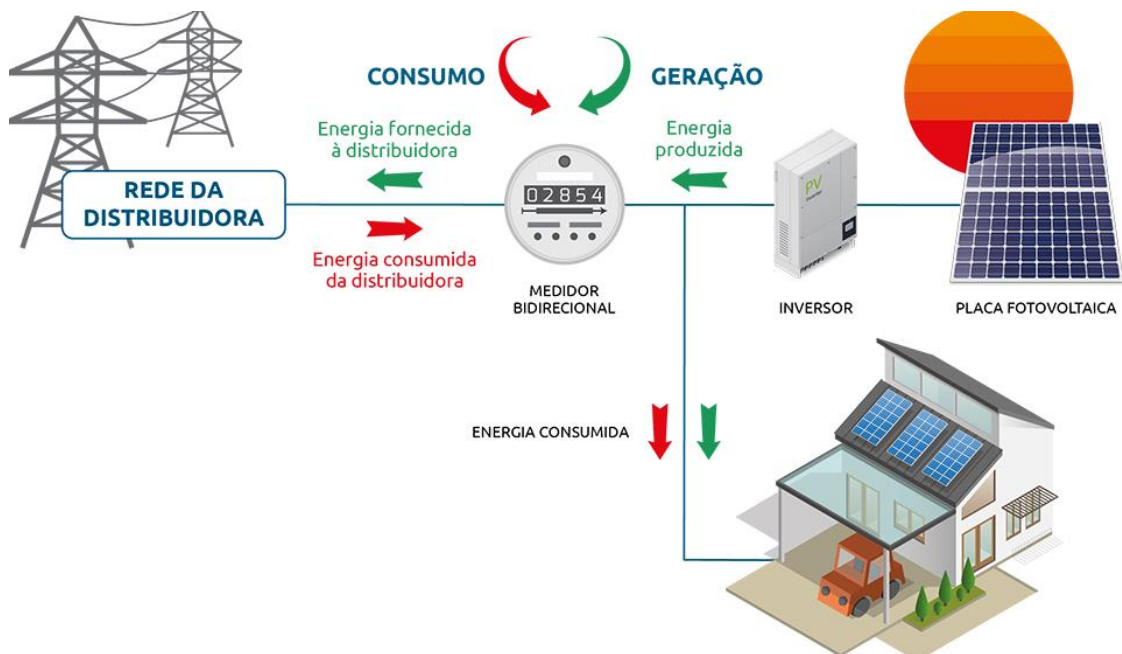
A segunda tecnologia importante das redes elétricas inteligente é o funcionamento e a integração de fontes renováveis. No Brasil, há um potencial significativo de energia eólica e solar. A rede inteligente permite que estas fontes sejam integradas de forma mais eficiente, ajustando-se às variações destas fontes, como a intermitência da energia solar, por exemplo (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022).

A geração distribuída de energia fotovoltaica figura 15, envolve a instalação de painéis solares para gerar eletricidade a partir da luz solar. Essa eletricidade é convertida de corrente contínua para corrente alternada por meio de um inversor e usada localmente. Um medidor bidirecional mede a eletricidade gerada e consumida, permitindo créditos de energia para o excesso produzido. Isso reduz a dependência da rede elétrica convencional e promove a sustentabilidade. Quando a energia

¹⁹ UNIVERCEMIG. **UniverCemig**: Medidores inteligentes e a infraestrutura de medição avançada - ami, 2019. Disponível em: <https://univercemig.cemig.com.br/>. Acesso em: 25 set. 2023.

injetada na rede for maior que a consumida será creditado em energia Kwh ao consumidor para abater o consumo em outro posto tarifário ou na fatura dos meses subsequentes, nos momentos em que a central não gera energia suficiente, a rede distribuidora local suprirá a diferença (Univercemig, 2018).

Figura 15 – Esquema de funcionamento – Geração distribuída



Fonte: Inovacare Solar (2021).²⁰

O armazenamento de energia também é uma característica essencial das redes inteligentes. Com sistemas de baterias avançadas, é possível armazenar energia em períodos de baixa demanda para ser usada em momentos de alta demanda. Este mecanismo alivia o stress sobre a rede em picos de consumo e pode evitar apagões (Ferreira, A.L., 2020).

Outra tecnologia são as pesquisas na área de automação residencial que objetivam agregar conforto, sustentabilidade, conectividade e eficiência energética, com conceitos, produtos e serviços desenvolvidos sob as demais perspectivas,

²⁰ INOVACARESOLAR. **Você Sabe a Diferença entre Geração Centralizada e Geração Distribuída.** São Paulo, 2021. Disponível em: <https://inovacare.solar/publicacao/voce-sabe-a-diferenca-entre-geracao-centralizada-e-geracao-distribuida/127>. Acesso em: 1 nov. 2023.

buscando a alta relação do custo benefício e facilidade ao cliente, os quais podem ser mencionados (Medeiros, 2013):

- A adoção de canais de interação ou in home displays (IHD): Permitir que o consumidor monitore e controle remotamente as tarefas dos eletrodomésticos e apresentem capacidade do cliente receber, interpretar e agir a partir de um sinal ou informação recebida de uma concessionária de energia ou empresa fornecedora.
- Eletrodomésticos inteligentes: Podemos citar as tomadas inteligentes, elas atuam de forma a contabilizar individualmente o consumo instantâneo de cada tomada e fornece respectivos dados ao consumidor.
- Conceito Multi utilidades: Consiste na possibilidade de integrar os diversos insumos das unidades consumidoras como água e gás e calor.
- Iluminação Residencial inteligente: Através de um sistema de automação residencial que controle a rede HAN²¹, é possível cadastrar interruptores, lâmpadas e controles remotos, como dispositivos componentes da rede e criar ligações entre eles. Dessa forma pode-se modificar controles de ambientes sem necessidade de alterar as instalações elétricas.
- Iluminação Pública Inteligente: Instalar novos dispositivos de controle associados a sistemas de iluminação, permite maior precisão no faturamento energético de tal sistema.
- Mobilidade Elétrica: Veículos elétricos híbridos recarregáveis (VEHR – veículo abastecido por combustível fóssil e pela rede elétrica) podem ser uma alternativa para o uso de petróleo.

Por fim as tecnologias de análise de dados conhecidas como soluções Big Data, são cruciais nessa estrutura, pois proporcionam ferramentas avançadas e inovadoras para um grande processamento paralelo, sistema analítico, computação distribuída, algoritmos, agilidade, consultas em tempo real, ambientes em nuvem e suporte para a grande variedade e volume de informações geradas pela rede elétrica inteligente (Galdino, 2016).

²¹ HAN – Home Area Network (Rede doméstica de área local).

No contexto brasileiro, com suas vastas extensões territoriais, as redes elétricas inteligentes também oferecem soluções para áreas remotas. Através das *Smart Grids*, é possível otimizar a distribuição e fazer o monitoramento do consumo em áreas de difícil acesso, fora dos centros urbanos, garantindo que comunidades isoladas e clientes rurais tenham um fornecimento de energia estável e confiável (Alan; Lizandra; Afonso, 2019).

A Rede Inteligente é um avanço tecnológico, surgindo como uma solução às demandas crescentes de fornecimento elétrico. Enquanto já conquistou reconhecimento em diversas nações, o Brasil também vislumbra sua implementação, especialmente em resposta a interrupções e instabilidades frequentes no fornecimento elétrico. A sua estrutura elétrica integra tecnologias de informação para potencializar sua eficácia, tanto em termos financeiros quanto energéticos, tornando-a mais resiliente e eficiente. Uma forma de definir a Rede Inteligente, ou *Smart Grid*, é como atua a incorporação de recursos tecnológicos avançados ao sistema elétrico, combinado com sistemas de comunicação e automação. (Ferreira, 2011).

Para Soares (2007), a Rede Inteligente representa uma evolução no segmento elétrico, considerando a urgência em tornar o processo de distribuição de energia mais dinâmico, adaptando-se às particularidades de cada região ou país. O conceito de *Smart Grid* emergiu da necessidade de as empresas energéticas repensarem e adaptarem suas estratégias, visando minimizar o impacto ambiental e maximizar o uso eficiente dos recursos disponíveis. O principal propósito é otimizar a gestão da energia, alcançando um equilíbrio harmonioso entre produtores, gestores e distribuidores do setor.

Com a utilização de instrumentos de medição avançados, com sensores que atuam na medição e monitoramento avançado do consumo de eletricidade, é possível alcançar uma gestão superior, aprimorada e garantir a confiabilidade do sistema. Essa Rede Inteligente pode ser interpretada como a evolução das redes elétricas, onde os processos de transmissão, distribuição e medição se unem a sistemas computacionais sofisticados, facilitando uma comunicação de mão dupla entre usuários e fornecedores (Silveira, 2016).

Dessa forma, as Redes Inteligentes apresentam-se como uma estrutura energética renovada, com maior capacidade e inteligência, que possibilita a

interconexão e interação de todos os seus usuários. Esta interação ocorre de maneira recíproca, tanto na distribuição de energia quanto no compartilhamento de informações (Silveira, 2016).

5.1. STALKEHOLDERS

Em suma, para consolidar a dinâmica em que as redes inteligentes estão inseridas, é propenso conhecer os agentes envolvidos, os *Stakeholders*²², aos quais, possuem interesse influência ou impacto de desenvolvimento, implementação e operação dessas redes. Eles desempenham papéis importantes na conformidade, aceitação pública, investimento e sucesso das *Smart Grids* e podem ser descritos abaixo (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022):

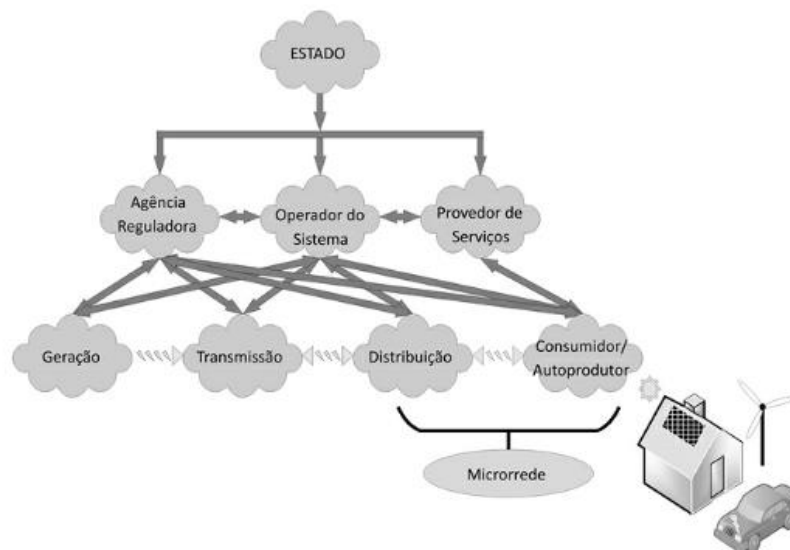
- Consumidor: Aquele que consome a comódite –também conhecidos como “prosumidores”. O presumir, tem a capacidade de fornecer energia, e geralmente atendam a própria demanda todo o tempo; assim, a rede de distribuição age como reserva.
- Geradores: Os que geram a energia elétrica da rede. Podem ser caracterizados por grandes conjuntos geradores que atendem parte atual da SEP ou por pequenos grupos distribuídos junto à rede como pequenos aerogeradores e painéis fotovoltaicos.
- Transmissoras: Responsáveis por transmitir os imensos pacotes de energia elétrica entre os grandes geradores e os centros consumidores através de linhas de transmissão, são de grande importância pois possibilita que a rede se comporte como uma grande reserva girante para o sistema.
- Agente Operador do Sistema: Atualmente representada pela entidade conhecida nos padrões brasileiros como ONS, Operador Nacional do Sistema, é responsável pela operação do sistema, incluindo o controle e a coordenação de geração e da transmissão de energia elétrica.
- Agente Regulador do Sistema: Responsável por criar as regras que regulam o setor energético, no Brasil o órgão é a ANEEL.

²² Stakeholders – Partes interessadas - Entidades ou grupos que têm interesse, influência ou participação em sistemas de energia inteligentes.

- Concessionárias de Distribuição/Provedor de Serviços: Permite que a energia transportada pelas transmissoras chegue ao consumidor final pelas redes de distribuição.
- Fabricantes: Empresas responsáveis pela fabricação dos equipamentos conectados à rede.
- Estado: Entidade responsável pelo bem-estar social. Incumbida de criar mecanismos para melhor execução, fiscalização e regulação dos recursos naturais entre eles, a eletricidade.
- Microrrede: Um sistema de baixa ou média tensão que pode operar de forma ilhada ou conectada a uma rede principal com características próprias de uma rede inteligente e fronteiras bem definidas em relação ao resto do sistema, aumenta a confiabilidade e tem capacidade de gerir seus recursos quando há falhas.

A figura 16 ilustra a integração dos stakeholders no cenário das Redes elétricas inteligentes.

Figura 16 – Integração dos stakeholders no cenário de redes inteligentes



Fonte: Souza; Bonatto; Ribeiro (2022).²³

²³ SOUZA, A. C. Z.; BONATTO, B. D.; RIBEIRO, P. F. **Integração de Renováveis e Redes Elétricas Inteligentes**. Rio de Janeiro: Interciência, 2022.

6 ASPECTOS POSITIVOS

O desenvolvimento do setor energético brasileiro, nos últimos anos, testemunhou a incorporação crescente de tecnologias modernas para otimizar a distribuição e utilização de energia. Dentre elas, as redes elétricas inteligentes têm se destacado como um marco de evolução. Este texto se propõe a explorar os benefícios inerentes à adoção dessas redes em território brasileiro, e apresenta uma série de pontos positivos descritos:

- **Eficiência energética:** É o primeiro ponto positivo evidente, as redes elétricas inteligentes têm o potencial de reduzir significativamente as perdas técnicas e não técnicas, permitindo um aproveitamento mais eficaz da energia produzida. Isso porque, ao contrário das redes tradicionais, as redes inteligentes são capazes de monitorar o fluxo de energia em tempo real, adaptando-se às demandas variáveis e identificando instantaneamente quaisquer desvios ou falhas (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022).
- **Benefício ambiental:** A abundância de recursos naturais e a capacidade de integrar mais facilmente fontes de energia renováveis nas redes inteligentes é um salto qualitativo no que diz respeito à sustentabilidade. Esse tipo de rede é desenhado para acomodar fontes de geração distribuída, como painéis solares e turbinas eólicas, tornando o sistema elétrico mais verde e menos dependente de combustíveis fósseis (Silva, 2019).
- **Vantagens ao consumidor:** Os usuários têm acesso a informações detalhadas sobre seus padrões de consumo, podendo assim adaptar seu uso e reduzir custos. Além disso, com a implementação de tarifas variáveis, é possível incentivar o consumo em horários de menor demanda, balanceando a carga na rede e evitando picos de uso. Esse modelo empodera o consumidor, permitindo-lhe tomar decisões mais informadas sobre seu consumo (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022).
- **Empoderamento dos "Prosumidores":** Estes são indivíduos ou entidades que não apenas consomem energia, mas também a produzem, através de, por exemplo, painéis solares instalados em suas propriedades. As redes elétricas inteligentes são projetadas para permitir que esses prosumidores vendam

energia excedente de volta à rede, incentivando ainda mais a geração distribuída e autônoma (Barreto, 2020).

- Resiliência da rede: Em face de eventos adversos, como tempestades ou falhas técnicas, as redes inteligentes têm capacidades inerentes de autorreparo. Elas podem isolar áreas afetadas e redistribuir a carga para evitar blecautes em larga escala, garantindo que a distribuição de energia seja contínua e confiável (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022).
- Tecnologia e dados integrados: Em um mundo cada vez mais digitalizado, entender e poder gerir comportamentos e culturas de consumo é um aspecto benéfico, porém proteger essa infraestrutura de é suma importância. As redes elétricas inteligentes devem ser dotadas de sistemas de segurança cibernética avançados, garantindo proteção contra potenciais ataques ou falhas (Santos, M., 2021).
- Otimização de custos: Com a capacidade de prever a demanda, as empresas de energia podem gerenciar melhor seus ativos, investindo em infraestrutura quando e onde é mais necessário. Esse gerenciamento eficiente se traduz em custos operacionais reduzidos, que podem ser refletidos em tarifação dinâmica e custos mais baixos para o consumidor final (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022).
- Incentivo à inovação: A adoção de redes elétricas inteligentes, abre um novo mercado para tecnologias emergentes. Sejam elas soluções em armazenamento de energia, novos métodos de geração distribuída ou tecnologias de comunicação avançada, há um vasto campo de oportunidades que pode impulsionar a economia e trazer novidades ao setor (Miranda, F., 2021).

As redes elétricas inteligentes representam um salto evolutivo no setor energético brasileiro. Suas vantagens, desde eficiência e sustentabilidade até empoderamento do consumidor e inovação, as posicionam como uma solução ideal para atender às demandas energéticas do século XXI no Brasil. À medida que a infraestrutura nacional avança nesse sentido, o país só tem a ganhar, consolidando sua posição como líder em inovação energética na América Latina.

É importante mencionar a necessidade de uma regulamentação clara e favorável ao desenvolvimento e implementação das redes elétricas inteligentes no Brasil. Embora já existam algumas diretrizes e normativas sobre o assunto, o cenário ainda é considerado incipiente. Uma regulamentação bem estruturada e alinhada com as melhores práticas internacionais pode acelerar o desenvolvimento das redes elétricas inteligentes no país e maximizar seus benefícios para a população (Silva, 2019).

O avanço das redes elétricas inteligentes é inegavelmente oportuno para o setor energético e oferece soluções para desafios específicos do setor, essa tecnologia é fundamental para preparar o país para desafios futuros no campo da energia. No entanto, ao lado dos benefícios, alguns desafios se apresentam e devem ser considerados.

7 ASPECTOS NEGATIVOS

As redes elétricas inteligentes no Brasil, apesar de promissoras, apresentam desafios consideráveis que evidenciam áreas que demandam abordagens estratégicas, essas nuances complexas, seguem mencionadas:

- **Alto investimento:** Uma infraestrutura moderna requer um capital considerável de investimento, o que pode ser uma barreira para algumas empresas menores ou para regiões com orçamentos mais restritos, especialmente em um país tão vasto e com infraestruturas tão diversas como o Brasil, podem ser um impedimento para muitas distribuidoras, mesmo quando ponderamos os benefícios de longo prazo em eficiência energética e redução de custos operacionais (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022).
- **Capacitação profissional:** A eficácia das redes elétricas inteligentes está atrelada a uma força de trabalho bem treinada, que compreenda e saiba operar as novas tecnologias. No Brasil, isso significa requalificar muitos profissionais que, até então, estavam habituados a sistemas mais tradicionais. Assim, para o Brasil aproveitar ao máximo as vantagens deste sistema, as universidades e institutos técnicos têm um papel crucial neste processo, e já se observa um

aumento na oferta de cursos e treinamentos relacionados às redes inteligentes e suas aplicações (Miranda, E. N., 2021).

- **Segurança cibernética:** Com um fluxo de informação constante e bidirecional ao integrar tecnologias da informação na gestão de energia, abrem-se portas para potenciais ataques cibernéticos. Essas ameaças podem não apenas comprometer o fornecimento de energia, mas também violar o sigilo ou a confidencialidade, a integridade e a autenticação dos consumidores (Paula, 2022).
- **Interoperabilidade dos sistemas:** Como as redes elétricas inteligentes integram diversos dispositivos e sistemas, é fundamental que todos eles sejam compatíveis entre si. A padronização é essencial para garantir que todas as partes da rede funcionem harmoniosamente, evitando conflitos e garantindo a máxima eficiência (Medeiros, 2013; Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022).
- **Percepção do público:** Nem todos veem as redes elétricas inteligentes com otimismo. Questões como privacidade, e aumentos tarifários e até resistência natural à mudança podem impactar sua aceitação no seio comunitário (De Faria, 2012).
- **Espectro regulatório:** O avanço acelerado das tecnologias associadas às redes inteligentes pode superar a capacidade dos órgãos reguladores de adaptar-se, visto que, qualquer unidade de consumo pode se tornar uma unidade de geração de energia. A falta de uma legislação atualizada pode gerar incertezas no setor e desincentivar investimentos (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022).
- **Flutuações de energia:** A interação entre as redes elétricas inteligentes e a integração de fontes renováveis, enquanto positiva em sua essência, também pode criar um cenário de flutuações. Por exemplo, as energias solar e eólica, embora sustentáveis, são intermitentes. A interconexão destas fontes a uma rede elétrica inteligente exige sistemas de armazenamento eficazes e a capacidade de equilibrar a oferta e a demanda em tempo real, sob pena de instabilidades no fornecimento (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022).
- **Disparidade regional:** O Brasil é um país de proporções continentais, e a disponibilidade de infraestrutura varia amplamente entre as regiões. Enquanto

certos estados podem estar mais preparados para adotar redes inteligentes, outros, especialmente nas regiões Norte e Nordeste, podem enfrentar barreiras significativas devido à falta de infraestrutura existente, a defasagem referente a eletrificação rural e terreno geograficamente desafiador. (Alencar; Guimarães; Araújo Júnior, 2020; Mme, 2010).

- Tecnologias estrangeiras: A importação de tecnologia não só aumenta os custos que já são robustos, mas também pode comprometer a segurança e a soberania nacional em assuntos de energia. Em um mundo cada vez mais interconectado, manter o controle sobre a infraestrutura crítica é de suma importância (Souza; Bonatto; Ribeiro, 2022).

Adicionalmente, apesar dos avanços, a tecnologia das redes elétricas inteligentes ainda está em desenvolvimento. Isto significa que as soluções adotadas hoje podem se tornar obsoletas em breve, necessitando de novos investimentos para atualizações e adequações. Esta constante evolução tecnológica requer uma abordagem flexível e adaptativa por parte dos responsáveis pela gestão energética (Alencar; Guimarães; Araújo Júnior, 2020).

8 CONCLUSÃO

Desde a revolução da era elétrica no final do século XIX até o cenário contemporâneo, o setor energético tem passado por mudanças contínuas. Contudo, as últimas décadas destacaram-se pela busca de soluções mais sustentáveis, eficientes e adaptadas às crescentes demandas do século XXI, essas que devem causar uma grande impacto na vida das pessoas.

Ao analisar as trajetórias de diferentes regiões, como Estados Unidos, União Europeia e Japão, percebe-se uma tendência global em direção à adoção e ao aprimoramento das *Smart Grids*. Essas redes, com sua capacidade de integração, automação e resposta em tempo real, têm o potencial de otimizar a geração, distribuição e consumo de energia, reduzindo perdas e aprimorando a resiliência do sistema.

No contexto brasileiro, apesar dos desafios inerentes à sua geografia e infraestrutura, observa-se um movimento promissor em direção à implementação

dessas redes, alinhado com as melhores práticas globais. O estudo também ressaltou os inúmeros benefícios associados à adoção das *Smart Grids*, desde a melhoria na eficiência energética até a potencialização da integração de fontes renováveis no mix energético.

Entretanto, como em toda inovação, as *Smart Grids* trazem consigo desafios. A necessidade de grandes investimentos em infraestrutura, a capacitação de profissionais, a gestão de dados em larga escala, são apenas algumas das questões a serem enfrentadas.

Em suma, este estudo proporcionou uma visão holística e detalhada das redes elétricas inteligentes, enfatizando seu potencial transformador. As *Smart Grids* não são apenas uma evolução tecnológica; representam um passo em direção a um futuro energético mais sustentável, resiliente e centrado no consumidor. À medida que a sociedade avança no século XXI, a importância de soluções como essas só tende a crescer, solidificando seu papel como pilar fundamental na matriz energética global.

ABSTRACT

This work addresses the topic of Smart Grids, focusing on the improvement of management and energy efficiency. The concept of these networks will be discussed, emphasizing the need for decarbonization and modernization of the power system from a holistic perspective. Additionally, an assessment of advances in this field in various countries and their driving factors will be conducted. Furthermore, special emphasis will be given to the Brazilian context in order to revolutionize paradigms in the traditional power system, establishing abundance in natural resources and addressing the infrastructure disparity among national regions. The operation of smart grids and the technologies that support their implementation will be explored, along with the involved stakeholders and the outcomes stemming from investments in the field. In summary, some challenges such as dependence on foreign technologies and rapid technological obsolescence, intermittent nature of renewable sources despite their sustainability, need to be overcome. However, even in the face of these obstacles, the potential of smart grids is immense, given that reliability, cost reduction, economic development, and emission reduction are factors contributing to the expansion of the system. In conclusion, their development and implementation can transform the Brazilian energy matrix, making it more sustainable, resilient, and adapted to the needs of the 21st century.

Keywords: Energy efficiency. Smart Grids. Sustainability.

REFERÊNCIAS

ALAN P.P.; LIZANDRA N.O.; AFONSO J.P.S. Proposta de Uma Arquitetura Híbrida de Comunicação Last Mile Para Smart Grids em Ambientes Rurais. **Revista Sociedade Brasileira de Automática**, v.1 p 3-5, 2019. <https://doi.org/10.20906/CBA2022/923>.

ALENCAR, Y. M. DE X.; GUIMARÃES, P. B. V.; ARAÚJO JÚNIOR, E. G. DE. Direito à cidade e energia: a regulação jurídica de Smart Grids no Brasil. **Revista De Direito Da Cidade**, v. 11, p 525–568, 2020. <https://doi.org/10.12957/rdc.2019.42003>.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Iniciativas de Smart Grid no Brasil**. Brasília: ANEEL, 2010.

ANEEL. **Relatório Anual de Atividades**. Brasília: ANEEL, 2022.

BARBOSA, F. J. **Desafios do Setor Elétrico Brasileiro no Século XXI**. Brasília: IPEA, 2015.

BARRETO, L. **Prosumidores e a Revolução Energética Brasileira**, São Paulo: Luz e Ação, 2020.

COSTA, B. R. **Tecnologias de Redes Inteligentes no Contexto Brasileiro**. Rio de Janeiro: Energia, 2012.

CLIMATE WATCH. 2022. Washington, DC: Instituto de Recursos Mundiais. Disponível em: https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2020&start_year=1990. Acesso em: 02 set. 2023.

DANTAS, C. J. **Eficiência Operacional e Redes Inteligentes**. Brasília: INEE, 2019.

DE FARIA, Diogo Mac Cord. **O impacto das redes elétricas inteligentes no nível tarifário das distribuidoras de energia brasileiras**. (Dissertação de Mestrado Profissional do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento) Curitiba: Instituto Lactec, 2012.

FERREIRA, A. L. **Democratização da Energia: O Papel das Redes Elétricas Inteligentes.** São Paulo: Luz, 2020.

FERREIRA, J. P. **Avanços Tecnológicos e as Redes Elétricas.** Edição Eletricidade Moderna, 2011.

FERREIRA, L.C. **Impactos das Redes Inteligentes no Consumo.** Belo Horizonte: Eletrika, 2021.

FUNABASHI, T. **Resiliência e Renovação: A resposta do Japão ao desastre de 3/11.** Maruzen, 2011.

GALDINO, N. **Big Data: ferramentas e aplicabilidade.** In: Congresso De Engenharia. 2016.

CGEE (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos). **Redes Elétricas Inteligentes: contexto nacional.** Brasília: Corporate Financial Center, 2012.

HAYASHI, M.; IEDA, T. **Melhorias de eficiência na rede elétrica do Japão por meio de soluções de TIC.** Transações IEEJ sobre Energia e Energia, v. 3, p. 183-189, 2017.

HOSSAIN, E.; HAN, Z.; POOR, HV. **Comunicação e Redes Inteligentes.** Cambridge: Cambridge University Press, 2012.

INOVACARESOLAR. **Você Sabe a Diferença entre Geração Centralizada e Geração Distribuída.** São Paulo, 2021. Disponível em: <https://inovacare.solar/publicacao/voce-sabe-a-diferenca-entre-geracao-centralizada-e-geracao-distribuida/127>. Acesso em: 1 nov. 2023.

KANEKO, Y.; FUKUI, H. O caminho do Japão para redes inteligentes: lições e estratégias. **Revista Política Energética**, v. 126, p. 435-442, 2019.

KOBAYASHI, H. A Evolução das Smart Grids no Japão. **Jornal de Sistemas de Potência e Energia**, v. 2, p. 150-159, 2013.

LEÃO, R. **GTD – Geração, Transmissão e Distribuição da Energia Elétrica**, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2009. Disponível em: www.dee.ufc.br/~rleao. Acesso em: 12 set. 2023.

MARTINS, N. L. **Evolução das Smart Grids nas Metrôpoles Brasileiras**. São Paulo: Pioneira, 2016.

MEDEIROS, R. A. O. **Smart Grids: As redes elétricas inteligentes e sua implantação**. Universidade Federal de Campina Grande. Paraíba, 2013. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/18323>. Acesso em: 9 nov. 2023.

MENDES, L. R. **Educação e Energia: Formando Profissionais para o Futuro**. Brasília: Universo Energético, 2021.

MIRANDA, E. N. **Formação Profissional e Redes Elétricas Inteligentes**. Salvador: Conhecimento, 2021.

MIRANDA, F. **Inovação no Setor Energético Brasileiro**. Curitiba: InovaEnergia, 2021.

MME (Ministério de Minas e Energia). **Programa Brasileiro de Rede Elétrica Inteligente - Smart Grid**. 2010

NAGATA, Y.; SASAKI, H. Desafios na implementação de tecnologias de redes inteligentes no Japão. **Revista Energia Procedia**, v 21. p. 854-861, 2018.

OLIVEIRA, J. P. **A Evolução Energética em São Paulo**. São Paulo: Progresso, 2020.

OLIVEIRA, L. **Parintins: A Fronteira do Smart Grid no Brasil**. Manaus: Amazonense, 2013.

OLIVEIRA, V.S. **Descentralização e Redes Inteligentes: O Futuro da Energia no Brasil.** Recife: Renováveis, 2019.

PAULA, A. O. **Uma arquitetura de automação adaptada para Smart Grids contra ataques cibernéticos.** (Dissertação de Mestrado Profissional, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília). Brasília, DF, 2022.

PEREIRA, M. *et al.* **Transformações Energéticas: Da Tradição à Inovação.** Rio de Janeiro: Energia Futura, 2012.

RIBEIRO, D.M. **Segurança Cibernética e Smart Grids: Desafios e Soluções.** Recife: Segurança, 2020.

RIVERA, R.; ESPOSITO, A. S.; TEIXERA, I. **Redes elétricas inteligentes (smart grid): oportunidade para adensamento produtivo e tecnológico local.** Banco Nacional do Desenvolvimento - BNDES, 2013. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2927/1/RB%2040%20Redes%20el%C3%A9tricas%20inteligentes_P.pdf. Acesso em: 30 ago. 2023.

RODRIGUES, R. L. **Desafios e Oportunidades das Redes Elétricas Inteligentes no Brasil.** Belo Horizonte: Eletricidade, 2018.

SANTOS, J. D. S. *et al.* M. Nikola Tesla. **E ERA OUTRA COISA.** Portugal: Universidade Católica Editora, 2021.

SANTOS, A. M. **História da Eletrificação no Brasil.** São Paulo: Edusp, 2008.

SANTOS, M. **Cibersegurança e Infraestrutura Energética.** Brasília: TechBraz, 2021.

SILVA, J.P. **O Avanço das Energias Renováveis no Brasil.** Rio de Janeiro: Renova, 2019.

SILVA, K. L. Da. **Pesquisa sobre os principais métodos de aterramento na instalação de sistemas fotovoltaicos**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Formiga, 2022. Disponível em: https://www.formiga.ifmg.edu.br/documents/2022/Biblioteca/KRISLLENY_SILVA_FINAL.pdf. Acesso em: 14 set. 2023.

SILVA, M. J. **Hidrelétricas e Desenvolvimento Nacional**. São Paulo: Energia, 1990.

SILVA, M.R. **Políticas Públicas e Energia**. Recife: Nordeste Energetic, 2020.

SILVA, P. T. **Medidores Inteligentes e o Futuro da Energia no Brasil**. Curitiba: - Tecnologia, 2017.

SILVEIRA, R. M. **Smart Grids: A Próxima Geração de Redes Energéticas**. Anais do Congresso Brasileiro de Energia, 2016.

SOARES, L. B. **O Futuro da Distribuição Elétrica**. Energia & Tecnologia, 2007.

SOUZA, A. C. Z.; BONATTO, B. D.; RIBEIRO, P. F. **Integração de Renováveis e Redes Elétricas Inteligentes**. Rio de Janeiro: Interciência, 2022.

UNIVERCEMIG. **UniverCemig: Medidores inteligentes e a infraestrutura de medição avançada - ami**, 2019. Disponível em: <https://univercemig.cemig.com.br/>. Acesso em: 25 set. 2023.

UNIVERCEMIG. **UniverCemig: Geração distribuída**, 2018. Disponível em: <https://univercemig.cemig.com.br/>. Acesso em: 12 out. 2023.

VIGNA, L.; FRIEDRICH, J. **9 Gráficos Para Entender as Emissões Per Capita de Gases de Efeito Estufa dos Países**, World Resources Institute – WRI, 2023. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/graficos-emissoes-per-capita-gases-de-efeito-estufapaises>. Acesso em: 02 out. 2023.

YOSHIDA, S.; KAKIMOTO, N. Integração de fontes de energia renováveis no Japão: desafios e oportunidades. **Revista Energia Renovável**, v. 75, p. 832-838, 2015.