

Implementação de redes inteligentes, seus benefícios e barreiras no mercado brasileiro

Evandro Antonio de Oliveira

evdeol_1988@yahoo.com.br

Gabriel Almeida Santos

gabrielsantos_27@hotmail.com

Rafael Augusto Coutinho

coutinho371@gmail.com

Raisson Bruno da Silva

raisson.silva@hotmail.com

Professora orientadora: Adriana Aparecida dos Santos Izidoro
Professora coorientadora: Isabela Vasconcelos de Carvalho Motta

Coordenação de curso de Engenharia Elétrica

Resumo

O setor elétrico está sujeito a sofrer uma evolução tecnológica devido ao surgimento de um modelo de geração, distribuição e transmissão de energia que envolve a participação e proporciona melhor controle ao consumidor final. Porém é preciso primeiro definir se esta é uma evolução possível no cenário em que o Brasil se encontra. Este sistema de rede é baseado na inserção da tecnologia de informação, proporcionando a comunicação de dados da rede elétrica por meio de dispositivos inteligentes. A implementação de redes inteligentes é uma medida ainda em seu estágio inicial. O objetivo base é otimizar o consumo e produção de energia elétrica fazendo com que o usuário se torne também um possível produtor de energia. A razão do presente estudo é analisar os benefícios e barreiras desta implementação no mercado brasileiro. Para sua construção, foi feita uma revisão de literatura descritiva fundamentada em autores e artigos que trabalham o objetivo proposto.

Palavras-chave: barreiras, benefícios, mercado brasileiro, redes inteligentes.

1. INTRODUÇÃO

As redes elétricas inteligentes de energia são uma nova arquitetura de distribuição de energia elétrica. Mais seguras e conectadas, integram e possibilitam ações a todos os usuários a ela conectados. A energia tradicionalmente gerada, transmitida e distribuída de forma radial a partir de instalações das concessionárias poderá, também, ser gerada e integrada às redes elétricas a partir de unidades consumidoras neste tipo de sistema.

Sensores instalados nas redes elétricas fornecem dados sobre o consumo de energia da unidade consumidora para a concessionária. Os dados destes sensores alimentam o sistema proporcionando um planejamento mais eficiente da rede. Permitindo que a rede funcione de maneira otimizada.

O mercado de energia tende a se adaptar à novos meios que sejam mais diretos e ofereçam um controle melhor da rede, desde a geração ao consumo final. A automação e controle de dados são um passo importante na era da comunicação e as redes de energia serão afetadas por isso. Portanto, o estudo de implementação, relacionando os benefícios e barreiras no mercado brasileiro, é consequentemente uma etapa para a evolução das redes de energia.

O controle após a implementação fornecerá informações suficientes relacionadas ao consumo e geração, otimizando o gasto desnecessário, prevenindo possíveis problemas na rede e falhas no fornecimento de energia causadas por acidentes. No momento em que uma falha for detectada, o trecho da rede é isolado e alternativas são ativadas para que a energia chegue ao cliente afetado, por meio de outras rotas.

Em contrapartida às melhorias ofertadas, a incerteza dos custos de instalação dificulta sua implementação. Para que este sistema entre em funcionamento é necessário que a arquitetura de toda a rede elétrica de energia seja aprimorada, adicionando sensores, administrando os usuários geradores de energia e fornecendo manutenções periódicas. As redes elétricas inteligentes necessitam também, para seu bom funcionamento, a conscientização por parte dos consumidores para o uso e integração ao sistema. Definir a relação entre os custos de investimento e os benefícios da implementação permite uma visualização objetiva do cenário de redes elétricas.

2. DESENVOLVIMENTO

A energia elétrica é uma das chaves fundamentais para o desenvolvimento social. O interesse para que o desenvolvimento desta área, com foco na geração e distribuição mais eficiente, surgiu devido à escassez de combustíveis fósseis baratos e aumento da demanda de energia elétrica.

O conceito de redes inteligentes é amplo e não está atrelado à uma tecnologia específica, sua definição mais sucinta são tecnologias de controle, monitoramento, armazenamento e comunicação, cujo objetivo é fazer um melhor uso dos recursos existentes. Os ganhos ofertados por este sistema derivam da necessidade de melhor controle de informações sobre consumo, perda e transmissão de energia entre todos os agentes envolvidos. Focados em melhorar decisões operacionais.

A implementação deste sistema ainda está em seus estágios iniciais, em projetos-piloto cuja análise é fundada em encontrar uma maneira que faça com que este sistema ofereça um custo-benefício adequado. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) fomenta o mercado por meio de seu programa de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Partindo disso, concessionárias no setor elétrico no Brasil possuem projetos para o desenvolvimento de medidores inteligentes que automatizariam o processo de análise da rede. A empresa ENEL SP, desde 2013 noticia sua intenção de implementação de um sistema de redes inteligentes na cidade de Barueri, São Paulo.

A promessa do uso de redes inteligentes é realizar uma melhor alocação dos recursos dispostos ao passo que reduz o pico da demanda de carga devido ao maior volume disponível de informações. O uso de um sistema fundamentado no conceito de redes inteligentes pressupõe a automação da rede elétrica de modo que não dependa da intervenção pré-definida do usuário e do uso de protocolos de operação

dinâmica que respondem ao dado recebido do consumidor final, que poderá também, ser um gerador de energia, permitindo assim, um fluxo bilateral. Neste cenário, a distribuidora e o consumidor poderiam acompanhar a evolução do uso da energia, respondendo qualquer alteração do sistema. A rede, neste sistema, possuiria um sistema de autorrecuperação (*self-healing*), com capacidade de detectar, analisar e corrigir quaisquer problemas que possam ocorrer.

2.1 DO PASSADO AO PRESENTE

O domínio do uso da eletricidade no Brasil começou no final do século XIX, próximo à criação de sistemas de geração e transmissão para o funcionamento das linhas de iluminação, instaladas com a aprovação de D. Pedro II, que concedeu à Thomas Edison a permissão para o desenvolvimento e aplicação de seus equipamentos no país, focados na iluminação pública.

Devido a este fomento inicial, o uso da energia elétrica tornou-se cada vez mais presente nas indústrias e residências. A população que, no início, era de pouco mais de quatorze milhões de habitantes, demandava de mais investimentos e incentivos na geração e distribuição da energia elétrica para que todos tivessem acesso a este benefício.

Tecnologias de geração foram aprimoradas utilizando as vantagens geográficas brasileiras, uma delas é a criação de hidrelétricas. A primeira construída foi, não apenas a primeira no Brasil, como também a primeira na América do Sul, localizada na cidade de Juiz de Fora em Minas Gerais. Instalada no rio Paraibuna, a Marmelos-Zero foi responsável por fornecer energia elétrica para suprir a necessidade da iluminação pública.

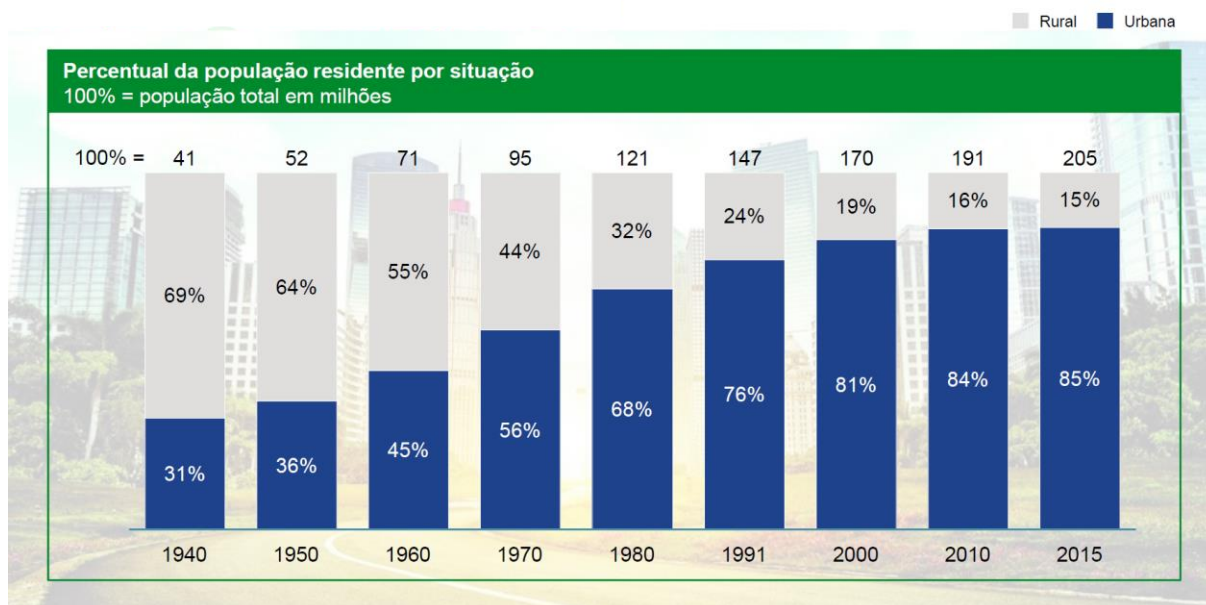
No âmbito federal, a intervenção da União no setor elétrico foi marcada desde o início dos anos de 1940 pela necessidade de um plano de gerenciamento energético do setor que pudesse acompanhar a demanda em relação à capacidade de produção e possibilidade de financiamento.

Embora a evolução referente à geração de energia elétrica tenha ocorrido, a demanda se mostrou maior que a oferta. Em 1945 o Governo Federal criou a Companhia Elétrica de São Francisco (Chesf) com a intenção de usufruir do potencial elétrico da cachoeira de Paulo Afonso.

Partindo da orientação do Governo Federal, foi criado o primeiro Plano Nacional de Eletrificação, proposto originalmente pelo governo Vargas, que analisava a necessidade de integração das regiões elétricas por meio dos sistemas de transmissão e estimava a quantidade de recursos necessários a serem alocados para os investimentos que supram a demanda energética. Este plano incluía também a criação do Fundo Nacional de Eletricidade (FNE), a Eletrobrás e previa a articulação com o setor nacional produtor de bens de equipamentos elétricos.

É preciso também considerar o contexto histórico de urbanização do Brasil, analisando fatores estruturais de distribuição de responsabilidades e de recursos permitidos ao longo das décadas no século XX entre as esferas do governo. Partindo disso é possível realizar uma análise ampla sobre as condições da nação. Apesar de os principais municípios e estados brasileiros possuírem responsabilidade em determinadas áreas, a União ainda permanece responsável pela parcela mais significativa dos recursos arrecadados. É preciso, portanto, analisar a evolução da taxa de urbanização, como mostra o Quadro 1 - Evolução da taxa de urbanização no Brasil.

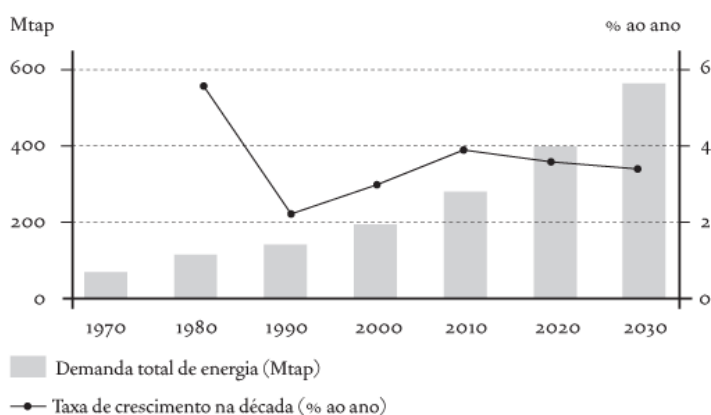
Quadro 1 - Evolução da taxa de urbanização no Brasil



Fonte: IBGE – Censo e PNAD (2015).

Embora tenham ocorrido rápidas transformações no cenário mundial nos anos próximos à 1970, como os dois choques do petróleo, além da elevação das taxas de juros no mercado externo no início dos anos de 1980, o crescimento energético que estava em ascensão desde meados de 1967, se reverteu. Em contrapartida, a evolução da demanda de energia permanece crescente desde os anos de 1970, como mostra o gráfico 1 - Evolução da demanda de energia e da taxa de crescimento econômico – Brasil 1970-2030.

Gráfico 1 - Evolução da demanda de energia e da taxa de crescimento econômico – Brasil 1970-2030

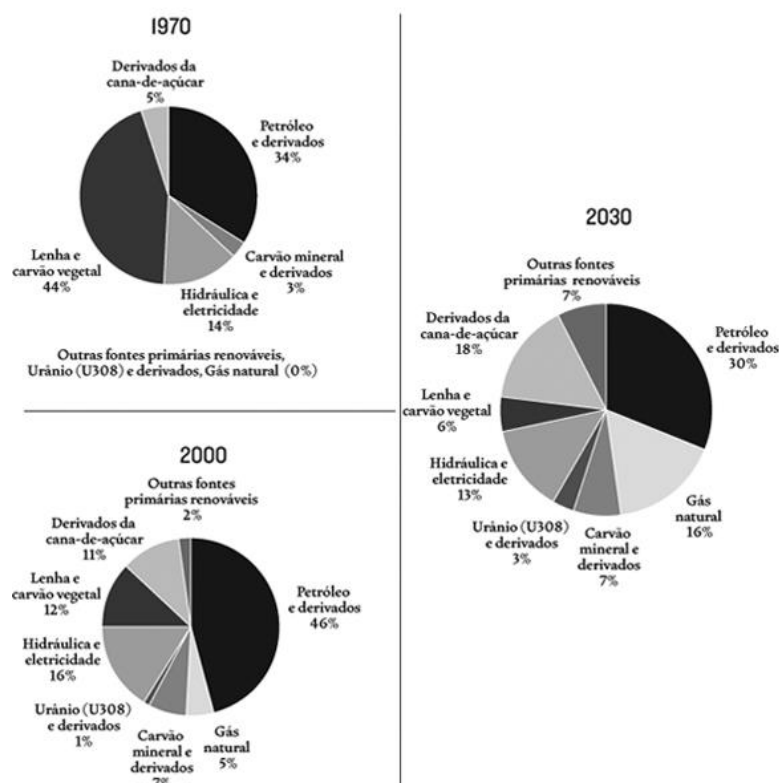


Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Cabe ressaltar a tentativa de diversificação das fontes de energia, na tentativa de distribuir melhor e fornecer o necessário para o quadro energético da época. Na década de 1970, duas fontes de energia compunham o quadro energético, são elas petróleo e lenha principalmente, respondiam por 78% do consumo. Trinta anos depois, nos anos 2000, três fontes correspondiam por 74% do consumo, adicionando a fonte de energia hidráulica, de forma mais significativa. É projetado para 2030 quatro fontes necessárias para satisfazer 77% do consumo, hidráulica, petróleo, cana de açúcar e

gás natural, como mostra o Gráfico 2 – Evolução da estrutura da oferta de energia – Brasil 1970-2030.

Gráfico 2 - Evolução da estrutura da oferta de energia – Brasil 1970-2030



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Os responsáveis pelo controle político econômico do Brasil, próximo a década de 1980, tentaram sustentar a postura e padrões de crescimentos anteriores relacionados ao desenvolvimento. Focados nisso, o governo da época implantou a segunda Política Nacional de Defesa, cujo objetivo era possibilitar a produção dos principais materiais básicos como petróleo, aço e energia elétrica. Baseados na intenção de manter a contínua evolução e crescimento econômicos.

As autoridades governamentais desconsideraram, na análise de crescimento, a complexidade do movimento econômico no cenário mundial, além do processo inflacionário e de endividamento externo no país. Com a crise da dívida, no início dos anos 1980 e a interrupção dos financiamentos, houve uma rápida ampliação da dívida interna. Isso fez com que os recursos do Estado, focados no desenvolvimento de setores como o elétrico, fossem cessados. Resultando então no início da lacuna entre o consumo e geração de energia elétrica.

Com o princípio da equalização tarifária para a taxa média de remuneração, estabelecido em 1981, fez com que o setor elétrico como um todo fosse responsável por agravar o quadro financeiro das concessionárias. Isso porque todo e qualquer ganho que a empresa obtivesse era transferido à outra concessionária para que a taxa média fosse mantida.

No decorrer dos anos 1980 o setor elétrico perdeu gradativamente sua eficiência e capacidade de crescimento, caracterizados pela intervenção da União. Fato este agravado pelo controle orçamentário estabelecido pelo Governo Federal. Pela visão

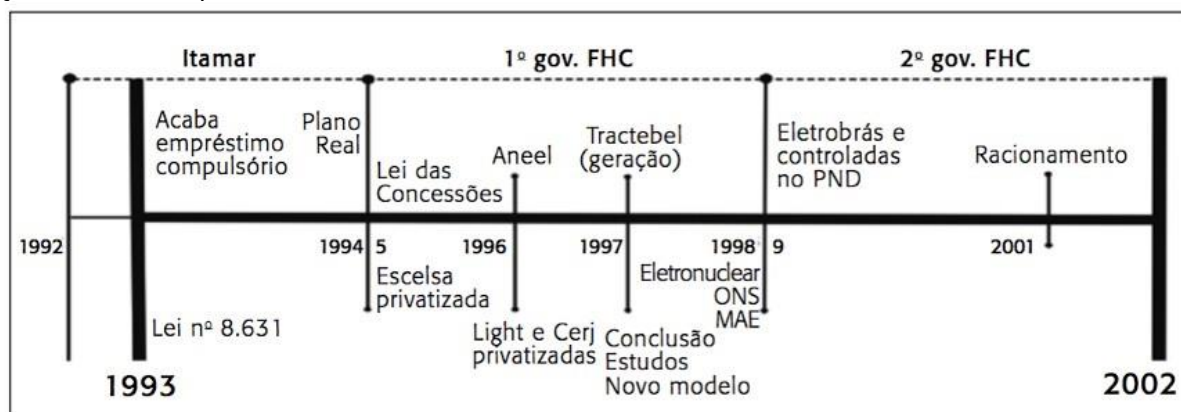
da demanda, a energia elétrica, por um baixo custo, incentivou a instalação de grandes consumidores. Por conta disso, projetos que não possuíam o retorno econômico esperado eram implementados e justificados tecnicamente como forma de beneficiar diversos tipos de interesses.

Sob a constante ameaça da ausência de energia elétrica, sustentada com argumentos “justificados tecnicamente”, a necessidade da expansão do sistema elétrico no Brasil passou a ser um fim em si. Na década de 1990 o Estado não possuía mais condições de financiar os investimentos no setor, as empresas na área estavam endividadas, o que impedia sua expansão. A falta de energia elétrica passa a ser uma realidade próxima. A privatização passa a ser uma alternativa possível para sanar os problemas financeiros das empresas elétricas.

Partindo disso, o Estado lança um abrangente programa de desestatização, cujo objetivo era buscar recursos para fluxo de caixa ao Tesouro Nacional. As primeiras estatizações no setor elétrico nacional foram realizadas antes que fosse definida a regulamentação do setor.

A criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no ano de 1996, junto da privatização de companhias, sinalizava a mudança da postura do Estado, indicando o novo papel assumido pelo Governo. A tentativa ao tomar esta postura seria focar na produção indireta enquanto um agente regulamentário. Mudando a posição de um controle mais direto na produção e fornecimento, marcando a passagem de um Estado produtor para um Estado regulamentador. São estes os acontecimentos que resultaram da necessidade de expansão e evolução da rede de energia elétrica, como mostra o Quadro 2 – Principais acontecimentos de 1990 à 2002.

Quadro 2 – Principais acontecimentos de 1990 à 2002



Fonte: Gomes e Vieira 2009.

2.2 CRISE ENERGÉTICA E SUA NECESSIDADE DE PLANEJAMENTO A LONGO PRAZO

A gravidade da situação do setor decorreu simultaneamente pela crise institucional e o aumento do risco do sistema elétrico, além de sua incapacidade de expansão. Na região sudeste, alvo do declínio de geração de energia, atingindo o nível de 33% da capacidade que, em uma situação ideal, seria de 90%.

Agravado a isso, no ano de 2001, frente à escassez de chuva, os reservatórios de água das hidrelétricas foram reduzidos ao ponto de que uma política de racionamento foi necessária. Os efeitos negativos foram danosos à população e

indústrias, sentidos pelos próximos anos. Embora o governo da época tenha procurado por medidas administrativas frente à crise, poucos esforços foram efetivos além da emergência momentânea. Este foi o marco da crise energética no início do século XXI no Brasil.

Embora diferentes fontes de geração tenham sido implementadas em todo o território nacional, aprimorando a geração, transmissão e distribuição de energia, a necessidade por um sistema otimizado ainda é um fator determinante para o próximo passo da evolução do sistema energético presente.

Novas tecnologias surgiram visando a solução e evolução do sistema atual. Técnicas foram melhoradas, equipamentos foram implementados e novas formas de utilização da energia elétrica foram desenvolvidas. No entanto, todo esse desenvolvimento técnico e tecnológico ainda não chegou ao seu limite. O exemplo disso são as redes inteligentes, que surgiram como uma nova revolução, revolução esta que não é apenas técnica e tecnológica, mais também econômica (TOLEDO, 2012).

2.3 ESTUDO DE IMPLEMENTAÇÃO

A expressão “redes inteligentes” ou em inglês *smart grid*, que foi utilizado pela primeira vez em 2005 no artigo *Toward a Smart Grid*, (apud RODRIGUES, 2021), trata-se de uma realidade imposta aos serviços de eletricidade (LAMIN, 2013). Porém, o conceito de redes inteligentes apresenta variações de acordo com o respectivo autor. Alguns focam na área de automação da rede, outros na cadeia de fornecimento de energia ou ainda na relação distribuidora – cliente. Tais variações podem acontecer em decorrência de diferentes óticas, alguns com foco em reduzir perdas, outros com foco em reduzir os impactos ambientais ou maior necessidade do controle financeiro. De um modo geral é possível afirmar que as redes deixaram de ser tratadas apenas como um sistema de potência e passam a se tornar uma grande fonte de informações (RODRIGUES, 2021), logo, passaram a ser um mecanismo a ser compreendido de acordo com a necessidade do local a ser aplicada (TOLEDO, 2012).

Desde 2008, a ANEEL vem estudando a regulamentação de uso de medição eletrônica em unidades consumidoras em baixa tensão. Porém o uso de medição inteligente implica substituição dos atuais medidores e isso carrega um custo associado. Custo este que não foi ainda definido de maneira clara, considerando as diferenças de todas as regiões do Brasil.

2.3.1 SELF-HEALING

É uma das principais funcionalidades das *Smart Grids*, tem por objetivo identificar e corrigir possíveis falhas no fornecimento de energia (DETOMINI, 2018), geralmente causadas por acidentes com árvores, tempestades ou animais. No momento em que uma falha for detectada, o trecho da rede é isolado e alternativas são ativadas para fazer a energia chegar ao cliente afetado por outras rotas e, segundo Fonseca (2017), a implantação da técnica de *Self-Healing*, na ocorrência de alguma falha no circuito devido à um defeito de uma linha, transformador ou outro elemento que compõe o sistema, ou ainda devido à necessidade de transferência de carga entre alimentadores, a rede deve ser capaz de reconfigurar-se automaticamente.

Para tal funcionalidade faz-se necessário a inclusão de “inteligência” nos equipamentos de proteção e manobra da rede, essa inteligência se dá por meio de

instalação de dispositivos eletrônicos ao longo de toda a rede e tem a função de abastecer o banco de dados do sistema, com informações do status dos equipamentos, valores de tensão e corrente em tempo real, indicação de correntes de curto-circuito e qualquer outro alerta que ser fizer necessário, além de possibilitar o comando remoto, contribuindo assim para a formação de sistemas inteligentes capazes de auxiliar os operadores do sistema na tomada de decisão ou até operar de modo automático (PRAMIO, 2014).

O funcionamento do *self-healing* ocorre em duas etapas. A primeira delas é a identificação da falha e isolamento do trecho desta falha. A segunda, é a recomposição do sistema (OHARA, 2009).

Para a recomposição do sistema alguns princípios devem ser observados:

- A falha não pode estar no trecho que será religado;
- O trecho a ser religado deve estar ligado a outro alimentador e este não pode ficar sobrecarregado.

2.3.2 SEGURANÇA

A implementação das redes inteligentes, sejam elas de qualquer complexidade, traz também a necessidade de um sistema de segurança da informação para garantir a qualidade do processo e a precisão dos dados. A atuação de um *hacker* poderia desligar um medidor, interferir nos comandos de subestações ou religadores, alterar os dados adquiridos e até mesmo coletar ou divulgar informações privadas de clientes e usuários.

A existência de um sistema de segurança da informação, para implementação das redes inteligentes, é necessário para garantir que o uso de uma *Smart Grid* não acarrete em uma perda da qualidade de energia elétrica fornecida, do sistema ou a exposição de dados particulares dos usuários conectados à rede.

Uma arquitetura de segurança eficiente é o primeiro passo para garantir a qualidade de implementação das redes inteligentes, porém, é provável que em algum momento algum ataque invada a segurança utilizada, o que enfatiza a importância de um planejamento de detecção e restauração dos sistemas e serviços.

A infraestrutura de segurança no uso de redes inteligentes é um elemento essencial para garantir a implementação deste sistema, mostrando de fato a revolução tecnológica que as *Smart Grids* podem proporcionar ao sistema de gerenciamento, transmissão e manutenção de energia elétrica.

Para a necessidade de sistemas de comunicação sem fio será necessário o uso de uma faixa de frequência exclusiva. Estudo feito em conjunto com a ANATEL, segundo dados do relatório do Ministério de Minas e Energia, atualizado dia 03/02/2021 às 17h08.

Segundo relatório da *Pike Reserch*, cerca de 15% de todo o investimento em redes inteligentes será destinado a essa área nos próximos cinco anos. O fato de a rede estar interligada de modo direto, aumenta a possibilidade de ataques.

2.3.3 EQUIPAMENTOS E ESTUDOS

Historicamente, os picos de consumo de energia ocorrem a noite, devido a população brasileira geralmente trabalhar em período matutino/vespertino e por simples costume temos um grande volume de consumo de energia nos horários da 17:00h às 21:00h. Porém, os horários de maior geração ocorrem durante o dia.

Um grande diferencial das redes inteligentes é o banco de energia. Uso de baterias que armazenem a energia elétrica gerada, quando não consumida. Uma possibilidade deste sistema que auxilia no fornecimento em horários de pico ou na ausência do fornecimento de eletricidade.

A definição de quanto isso poderia custar é uma questão de política pública. Vários países remuneram essa venda com tarifas que podem chegar a três vezes o valor da energia que é consumida; em outros, apenas se faz a contabilização do consumo e da venda, tendo os dois o mesmo valor de faturamento.

2.3.4 EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL

Empresas de grande porte como IBM, Siemens, Oracle e Cisco deram início na pesquisa e investimentos por todo o planeta, focando nos sistemas baseados em redes inteligentes. Foram feitos investimentos expressivos em projetos-piloto com o objetivo de aperfeiçoar e investigar a viabilidade deste tipo de sistema.

Ao analisar o continente europeu a evolução das redes inteligentes se mostra mais desenvolvida. Itália e Malta já possuem projetos em escala nacional. Países como Portugal, Alemanha e Reino Unido possuem a tecnologia em fases de testes em escalas menores com a finalidade de avaliar seu potencial em relação aos recursos, custos e economias. Porém, as recentes dificuldades econômicas causadas pelo conflito entre Rússia e Ucrânia, após um período de dois anos de pandemia, impossibilitaram novos investimentos na área.

A evolução desta tecnologia também não se apresenta como homogênea no Ocidente, especificamente nos Estados Unidos. Como o regime político é baseado na autonomia auferida aos estados, apenas alguns possuem estratégias definidas, baseadas em suas necessidades e recursos dispostos. Segundo o Departamento de Energia do governo estadunidense, mais de cinco milhões de medidores inteligentes foram instalados em todo o país, principalmente nos estados da Califórnia, Idaho, Arizona, Oklahoma, Michigan, Texas, Nevada e Florida.

Iniciativas relevantes também estão presentes no Oriente e Novíssimo Mundo, com foco no Japão, Índia, China e Austrália.

2.3.5 EXPECTATIVA PARA O BRASIL

Em relação a América Latina, o Brasil é o país que realizou o maior investimento na área. Há grandes expectativas em relação aos futuros investimentos no país. É esperado que, com um maior monitoramento e análise do consumo de energia, perdas causadas pelo roubo de energia possam ser reduzidas, monitoramento esse que isolaria fugas de energia para clientes irregulares. Isso faria com que o pico de consumo, ocorrido nos dias de semana entre as 19 horas e 22 horas, seja redistribuído a outros horários durante o dia. Além de também aumentar a participação de quaisquer fontes de energias alternativas, com foco na geração de energia solar e eólica.

Tais investimentos, se ocorridos de modo constante, impactariam não somente as concessionárias e consumidores como também outros seguimentos da cadeia produtiva. Fomentando o mercado de produtores de equipamentos de medidores inteligentes, monitoramento remoto e *softwares* de gerenciamento. Como a tecnologia proposta ainda não está em sua fase final, o mercado não se restringe apenas ao território nacional, já que diversos outros países promovem investimentos.

Por ainda existir em sua fase inicial de estudos, mesmo considerando o potencial de ganhos, não há uma análise de custo-benefício definida para o Brasil. A Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE), realizou em um projeto dentro do programa de incentivo à P&D da Aneel, um estudo sobre o tema no qual os ganhos com a diminuição de perdas junto à melhoria da qualidade do serviço prestado, seriam o suficiente para fazer com que os investimentos sejam viáveis. Neste estudo de viabilidade foram considerados três cenários: um conservador, um moderado e um acelerado. Porém este estudo concluiu que a perspectiva do consumo e até mesmo a redução do consumo sejam ínfimas. Esta pesquisa não estimou os impactos que o investimento causaria no pico de consumo ou como o consumidor reagiria ao fluxo de informações. Por estes motivos esta análise não pode ser vista como uma análise definitiva sobre o caso.

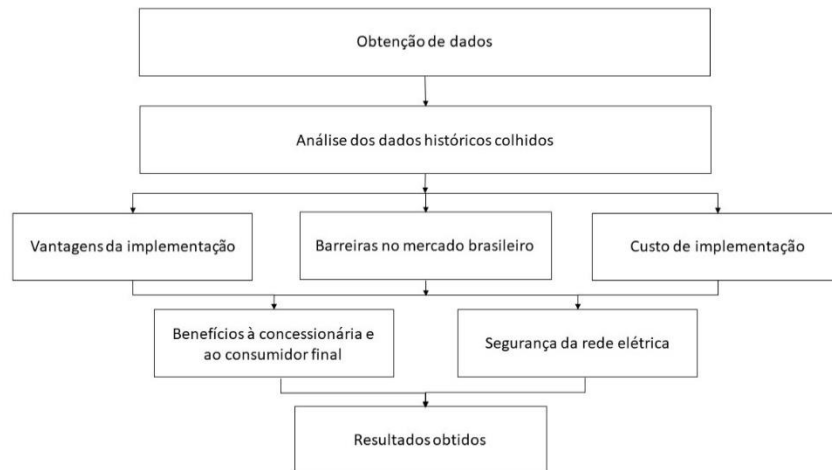
3. METODOLOGIA

O presente artigo foi realizado por meio de revisão de literatura com abordagem qualitativa e de natureza descritiva. De acordo com Gil (2022) antes do processo de investigação deve-se primeiramente realizar uma pesquisa bibliográfica, ou seja, após a escolha de determinado tema, é imprescindível a realização de uma revisão de literatura. Por meio desta pode-se identificar, compreender, localizar, compilar e fichar as informações e ideias mais importantes para a consecução do texto a ser desenvolvido.

A coleta de dados foi realizada em Bases de Dados Virtuais, como Minha Biblioteca UNA, *Scientific Eletronic Library Online* (SciELO), Google Scholar e Periódicos CAPES, no período de setembro-dezembro de 2022.

Utilizou-se, na estratégia da pesquisa, os seguintes escritos: “Redes inteligentes”, “*Smart Grids*” “Benefícios das *Smart Grids* para a distribuição de energia”; e as seguintes *Keywords*: “*Smart Grids*”, “*Benefits of using smart grids in the electricity distribution system*”, ficando estabelecido como critérios de inclusão, textos completos, escritos em português ou inglês, que abordassem a temática estabelecida, publicados nos últimos 20 anos (2002-2022). O método de estudos utilizado foi descrito na Figura 1 – Descrição do método de pesquisa, e, como critérios de exclusão os textos não apresentados integralmente, escritos em idiomas que não fosse português e inglês, que não atendessem claramente ao objetivo proposto, e os anteriores à 2002.

Figura 1 – Descrição do método de pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores.

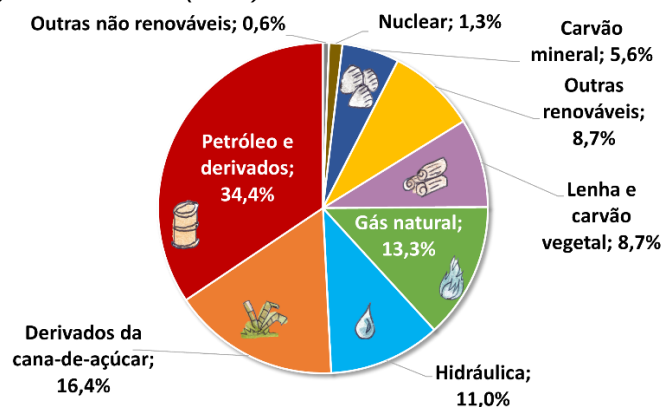
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE GERAL

O Brasil possui vantagens com experiência em crises energéticas e o racionamento de energia, ocorrido no início do século XXI, em 2001. Além disso, é preciso considerar também as experiências em programas de expansão de serviços de infraestrutura, como as tentativas da universalização dos serviços de internet, telefônicos e até mesmo de energia elétrica.

Analisando a oferta de energia elétrica no Brasil e todo o histórico de implementação, é notório que há uma maior dependência da fonte hidráulica para sua geração, como mostra Gráfico 3 – Matriz Energética brasileira (2021).

Gráfico 3 – Matriz Energética brasileira (2021).



Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN), 2022.

Quando analisado o consumo da energia elétrica, focando na modalidade residencial, fica evidente que este não é homogêneo entre todas as regiões do país, visto que a geração, transmissão e ocupação do país também não o são.

Graças as melhorias econômicas ocorridas após o Plano Real, em funcionamento a partir do dia primeiro de julho de 1994, o poder de compra do cidadão, embora tenha declinado desde então, foi impactado positivamente de forma significativa no consumo de energia elétrica. Apesar deste crescimento, estima-se que ainda há uma demanda reprimida de energia elétrica, causada pela desigualdade social.

Medidas de fomento ao uso de energia solar no aquecimento de água, por exemplo, podem ser eficazes em amenizar esse pico sem a necessidade de grandes investimentos associados às redes inteligentes. O Relatório da Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso (classe residencial), indicou que mais de 75% das amostras consideradas desconhecem a economia de energia causada pelo uso de eletrodomésticos mais eficientes, mesmo que esta informação esteja acessível ao consumidor por meio do selo Procel (ELETROBRAS, 2007). Isso levanta ainda mais as dúvidas sobre se os medidores inteligentes, se implementados, atingirão os objetivos propostos considerando o fato de os consumidores, de modo geral, ainda não analisar e usufruir das informações que a eles já são disponibilizadas. O maior desafio para o funcionamento de redes inteligentes está na integração e comunicação de sistemas digitais à vida cotidiana. Neste caso, relacionar os parâmetros que dificultam a implementação deste sistema, junto dos benefícios proporcionados tanto para o consumidor final quanto à concessionária de energia, é o meio que tornará possível a evolução como uma sociedade integrada.

Além das diferenças regionais, alguns eletrodomésticos possuem maiores participações no consumo de energia, como mostra a Tabela 2 – Participação de eletrodomésticos no consumo residencial por regiões.

Tabela 2 – Participação de eletrodomésticos no consumo residencial por regiões.

(Em %)						
	Brasil	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Lâmpadas	14	12	11	12	19	8
Chuveiro	24	2	9	28	26	25
Condicionamento ambiental	20	40	27	18	11	32
Televisão	9	9	11	7	10	7
Som	3	3	5	3	3	3
Ferro	3	3	3	3	3	2
Geladeira	22	25	29	24	22	16
Freezer	5	4	5	4	5	7
Lava-roupa	-	-	-	1	1	-

Fonte: Eletrobras (2007).

4.1.1 BARREIRAS ENCONTRADAS

As principais barreiras encontradas na implementação de um sistema de redes inteligentes está, em primeiro lugar, presa na limitação do investimento necessário para que o seja concluído, substituindo o sistema atual. Por não haver dados suficientes em experimentos práticos de sua implementação em uma sociedade, definir um custo é ainda uma barreira intangível. Além do custo, também não há garantias que certifiquem que o consumidor comum fará bom uso de tudo que o

sistema pode oferecer, desde o maior controle e leitura de todos os custos da energia consumida, quanto da possibilidade de geração de energia por parte do consumidor.

Além dos problemas existentes por parte do usuário, a concessionária também enfrentaria dificuldades pela necessidade de adaptação do sistema atual de distribuição. Maiores custos seriam gerados e o mesmo problema da falta de dados concretos ocorre, não há garantias de que o investimento traria melhorias práticas que superassem todos os gastos iniciais.

4.1.2 BENEFÍCIOS AO CONSUMIDOR

As redes inteligentes tornam a rede elétrica uma via de mão dupla, permitindo que consumidores deixem de ser meros receptores de energia e virem pequenos produtores, caso possuam os geradores necessários. Este sistema oferece segurança e comodidade graças à redução de interrupções de problemas gerados pela queda de energia causada por fatores externos. A visualização do consumo e geração de energia elétrica em tempo real permite um controle maior por parte do consumidor, que possuirá as informações necessárias para um domínio melhor e possível economia dos gastos de energia considerando os horários de pico. Um benefício prático ao consumidor é a possibilidade do acionamento, de forma remota, dos aparelhos eletrônicos presentes no imóvel.

4.1.3 BENEFÍCIOS ÀS CONCESSIONÁRIAS

As concessionárias, após a implementação deste tipo de sistema, poderão com uma maior facilidade e comodidade analisar, por meio dos dados coletados, as regiões que mais consomem energia e os principais horários onde o consumo é maior. Utilizando estas informações, a distribuição da energia poderá ser feita de modo mais eficiente. Os dados também auxiliarão na identificação de quaisquer falhas que possam ocorrer na rede, podendo também corrigir de maneira inteligente, prevenindo quaisquer fraudes e falhas e mantendo a qualidade do serviço prestado. Isso tudo é possível mapeando as características de consumo de todos os usuários.

4.2 DISCUSSÃO

Os dados sobre a implementação de redes inteligentes, no uso comum de uma sociedade cujos pilares socioeconômicos estão fundamentados de modo não uniforme, ainda é insatisfatório. Apesar dos benefícios prometidos pela sua implementação, existem severas preocupações sobre sua proposta. Ainda não foi feita uma análise fundamentada em princípios científicos que validem seu custo-benefício de modo efetivo. Não há garantias sobre todos os serviços que este tipo de sistema ofertará, se estes serviços atenderão e serão acolhidos pelos consumidores ao ponto de alterar seu padrão de comportamento atual. Portanto, não há garantias claras de que se feito o investimento necessário, alterando a infraestrutura, adequando a rede atual a treinando a mão de obra e consumidores, os ganhos superarão os custos.

A Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE) realizou um estudo sobre a proposta. Em seus estudos foi concluído que o sistema de redes inteligentes forneceria uma melhor qualidade no serviço de energia elétrica, o que compensaria os investimentos (ABRADEE, 2011). Contudo, não foi mensurado

quais seriam os possíveis ganhos focados na resposta do consumidor às informações ofertadas. O próprio estudo os considera incertos.

O comportamento do consumidor depende do quão engajado e responsivo será o sistema implementado. O processo de educação e treinamento dos consumidores sobre a utilização dos medidores e a compreensão dos dados disponibilizados e coletados demanda tempo até que o comportamento esperado seja atingido e os ganhos possíveis. Informações sobre o uso dos consumidores e sua segurança permite que exista uma falha na proposta do sistema implementado. Informações como o consumo do usuário mostram em quais horários ele está na residência e por quanto tempo ele a deixa, fornecendo toda a sua rotina. O fornecimento destas informações acaba por limitar a liberdade e retirá-la do controle do usuário.

Pelo fato de o Brasil ser um país extenso, com um grande território e diferenças socioculturais, a implementação deste tipo de sistema precisa primeiro considerar o uso dos consumidores, as diferenças de custos em cada região do território nacional, tanto para a implementação do sistema quanto para o aprendizado de seu funcionamento. Mesmo com os estudos feitos pela ABRADDEE, com foco na solução desta questão, nenhum resultado satisfatório foi encontrado caso a aplicação deste sistema seja implementada em território nacional.

As vantagens caso este sistema seja implementado e utilizado de forma eficiente são promissoras. Enquanto concessionárias se beneficiam com as menores perdas de energia e a possibilidade do adiamento nos investimentos de expansão da rede, consumidores possuem a possibilidade da redução dos custos de sua energia elétrica, além de um melhor serviço prestado. Porém, na ausência de uma avaliação definitiva e concreta do custo-benefício, a repartição dos custos de forma proporcional aos benefícios é complexa e incerta.

Analisando o cenário prático, os investimentos realizados no uso e implementação de redes inteligentes gerariam, no primeiro momento, aumento na tarifa de distribuição, elevando o custo final aos consumidores. Estes por sua vez não possuem a garantia de reduzir tais custos ao gerar energia de maneiras alternativas, já que isso demandaria um custo de investimento ainda maior por parte do consumidor. A forma de repartir os custos e benefícios precisa considerar todos estes fatores. O melhor cenário, a curto prazo, seria considerar o investimento em regiões específicas do Brasil. Analisar o modo como a energia elétrica é utilizada pela população, considerando sua geração, consumo e conhecimento sobre o funcionamento, considerando principalmente o selo Procel, como mostrado na Tabela 2 – Participação de eletrodomésticos no consumo residencial por regiões.

Portanto é preciso antes considerar o cenário atual do país. Cenário este onde, os investimentos são finitos e precisam ser distribuídos de modo que atendam todo o território nacional, onde a desvalorização da moeda, devido a economia ter sofrido negativamente pela pandemia, afeta a capacidade de expansão do país. Onde o consumidor, em sua maioria, não está preparado para uma melhoria drástica no sistema de energia e as concessionárias não conseguem realizá-lo em um curto período. A implementação de um sistema de redes inteligentes em larga escala, frente a estes desafios que precisam ser saciados, para que o objetivo seja atingido, se mostra como sendo inviável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRADEE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. **Projeto Estratégico de P&D: redes elétricas inteligentes**. Brasília, 14-15 dez. 2011.

ABREU, Y. V. **A reestruturação do setor elétrico brasileiro: Questões e Perspectivas**. 1999. 184 p. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1999. Disponível em: <http://www.iee.usp.br/sites/default/files/biblioteca/producao/1999/teses/yolanda.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2022.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. **Relatório de acompanhamento setorial – Smart grid: tendências no mundo e no Brasil e possibilidade de desenvolvimento produtivo e tecnológico**. 2012.

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **ANEEL regulamenta medidores eletrônicos**. Brasília, 2012.

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 5 – Sistemas de Medição**. 2008

ARAÚJO, T. B. R. **Estudo sobre Self Healing: metodologia de aplicação em redes de distribuição de energia elétrica**. 2016, 44 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Centro Universitário do Sul de Minas, UNIS, Varginha - 2016. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/727>. Acesso em: 28 nov. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724: informação e documentação - trabalhos acadêmicos - apresentação**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6022**: informação e documentação - artigo em publicação periódica técnica e/ou científica - apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BRASIL. Presidência da República. **Plano nacional de eletrificação e centrais elétricas brasileiras S/A**. Rio de Janeiro: Departamento de Imprensa Nacional, 1954. Ministério das Minas e Energia. Energia elétrica no Brasil: da primeira lâmpada à Eletrobrás. Brasília, DF: Eletrobrás, 1972.

DECANINI, J. G. M. S. **Detecção, Classificação e localização de faltas de curto-circuito em sistemas de distribuição de energia elétrica usando sistemas inteligentes**. 2012. 114 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira – UNESP, Ilha Solteira, 2012. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/100334/decanini_jgms_dr_ilha.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 28 nov. 2022.

ELETROBRAS; PROCEL. Avaliação dos Resultados do PROCEL 2007. Rio de Janeiro, 2008. 191 p.

FALCÃO, D. M. "**Smart Grid e Microrredes: O Futuro já é Presente**," Anais do VIII SIMPASE, Rio de Janeiro RJ, 9 -14 de agosto de 2009

FONSECA, J. R. L. **Aplicação da técnica de Self Healing na reconfiguração automática de redes elétricas utilizando o padrão IEC 61850**. 2017. 246 p. Dissertação (Mestrado Profissional) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/24773/1/JonathaRevoredoLeiteDaFonseca DISSERT.pdf>; Acesso em: 28 nov. 2022.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 176 p.

GRIEBENOW, C.; OHARA, A. **Panorama do setor de energia elétrica no Brasil**. Versão 2019. Rio de Janeiro: E+, 2020. 86p.

GUTH, T. F. **Avaliação da implantação de sistemas de recomposição automática em redes de distribuição de energia elétrica**. 2013. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Sergipe; São Cristóvão, 2013. Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/5042/1/THIAGO_FREIRE_GUTH.pdf. Acesso em: 28 nov. 2022.

LAMIN, H. **Análise de impacto regulatório da implantação de redes**. 2013. 300 p. Tese (Pós-Graduação) - Faculdade de tecnologia da Universidade de Brasília. Brasília, 2013. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/13962/1/2013_HugoLamin.pdf. Acesso em: 28 nov. 2022.

OHARA, A. T. **Sistema de recomposição automática de redes de distribuição – A aplicação do conceito de Self-Healing**. IN: Anais do VI CIERTEC 2009 - Seminário Internacional sobre Smart Grid em Sistemas de Distribuição e Transmissão de Energia Elétrica. Belo Horizonte – 2009.

PAIM NETO, J. R.; BIANCHINI, D. **Segurança da Informação em Redes Inteligentes ou “Smart Grid”**. In: I World Congress on Systems Engineering and Information Technology. Porto: [s.n.], 2013. v. 13, p. 35 – 38. Disponível em: <https://copec.eu/congresses/wcseit2013/proc/works/8.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2022

PRAMIO, J. T. **Estudo sobre Self Healing: conceitos, metodologias e aplicações em redes de distribuição de energia elétrica**. Tese (Pós-Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba, 2014. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/17172/3/CT_CEAUT_V_2014_14.pdf. Acesso em: 28 nov. 2022.

RODRIGUES, L. P. B. **Medidores eletrônicos inteligentes em redes inteligentes de energia elétrica: estudo e análise**. 2021. 41 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/62087/3/2021_tcc_lpbrodrigues.pdf. Acesso em: 28 nov. 2022.

RUPPENTHAL, F. A. **Auto- restauração na rede de distribuição de energia elétrica**. 2019, 109 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade de Santa Cruz do Sul, UNISC, Santa Cruz do Sul – 2019. Disponível em: <http://repositorio.unisc.br:8080/jspui/handle/11624/2592>. Acesso em: 28 nov. 2022.

SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 10., 2018, Recife. **Anais** [...]. Santana do Livramento: SIEPE, 2018. 6 p. Disponível em: https://guri.unipampa.edu.br/uploads/evt/arq_trabalhos/18152/seer_18152.pdf. Acesso em: 28 nov. 2022

TOLEDO, F. **Desvendando as redes elétricas inteligentes - Smart Grid Handbook**. 1ª. ed. [S.l.]: Brasport, 2012. 376 p.

UNITED STATES. Department of Energy. **Energy secretary chu announces five million smart meters installed Nationwide as part of grid modernization effort**. 2011.

ZIMMER, C.; FRANCO, M. **Automação da distribuição de energia: recomposição automática de redes de distribuição**. 2014. 96 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba, 2014. Disponível em: https://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2012_2_16/2012_2_16_final.pdf. Acesso em: 28 nov. 2022.