FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA

ENGENHARIA ELÉTRICA

Desafio em inserir redes inteligentes no cenário brasileiro

Gabriel Aristimunha Dutra

Campo Grande MS

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA

ENGENHARIA ELÉTRICA

Desafio em inserir redes inteligentes no cenário brasileiro

Gabriel Aristimunha Dutra

Orientador: Prof(a) Dra Luciana Cambraia Leite

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro(a) Eletricista.

Campo Grande MS

Desafio em inserir redes inteligentes no cenário brasileiro

Monografia apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, para obtenção da Graduação em Engenharia Elétrica.

Banca Examinadora:

_____

Prof(a). Dra. Luciana Cambraia Leite

Orientador

_____

Prof. Dr. Flávio Guilherme de Melo Lima

_____

Prof(a). Ms. Andrea Romero

Campo Grande MS

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, meus pais Oswaldo Ferreira Dutra Filho e Luciana dos Santos Aristimunha pelas oportunidades, ensinamentos e cuidados que me proporcionaram e proporcionam, mas principalmente pelo suporte e amor que cada um me concebeu.

Agradeço a todos os profissionais professores que já passaram pela minha vida, sem o ensinamento e conteúdo deles, não teria chegado até aqui.

Agradeço aos amigos que fiz no caminho dentro da faculdade, só quem passou por isso sabe como realmente é e como é bom ter pessoas que gostam de você para te apoiar e te entender em momentos difíceis.

E agradeço a minha futura esposa Vanessa de Mamann Felipe, por poder estar compartilhando este momento comigo, por ter estado do meu lado nos dias bons e principalmente nos ruins, e por me compreender e me amar como ninguém antes conseguiu.

RESUMO

O presente trabalho pretende apresentar ao leitor os conceitos de *smart grid* (redes inteligentes) e quais são as principais dificuldades enfrentadas no Brasil para a implementação das tecnologias envolvidas no conceito. Além disso, são exibidos projetos de cidades inteligentes as quais apresentam, em algum grau, tecnologias que abrem portas para a instalação de *smart grids* nessas regiões. Ao longo das pesquisas de artigos e relatórios de energia e projetos, de estudantes, empresas e órgãos governamentais, foram-se aglomerados os principais pontos discutidos em comum entre eles para a elaboração do documento. Dessa forma, o leitor pode esperar um acervo com todos os projetos existentes, até a data de publicação do trabalho, sobre o tema no Brasil e em qual patamar eles estão desde suas últimas menções.

Palavras-Chave: rede inteligente, medidor inteligente, geração distribuída.

ABSTRACT

The present work intends to present to the reader the concepts of smart grid and intelligent networks and what are the main difficulties faced today, in Brazil, for the implementation of the technologies involved in the concept. In addition, smart city projects are exhibited that show, to some degree, technologies that open doors for the installation of smart grids in these regions. Throughout the research of articles and reports on energy and projects, by students, companies and government agencies, the main points discussed in common between them for the elaboration of the document were gathered. In this way, the reader can expect a collection with all existing projects, up to the date of publication of the work, on the subject in Brazil and at what level they have been since their last mentions.

Keywords: smart grid, smart city, smart meter, distributed generation.

LISTA DE FIGURAS

Número *Página*

Figura 1: Infraestrutura de comunicação de redes inteligentes. 19

Figura 2: Representação do SEP atual. 29

Figura 3: Representação do SEP com fluxo bidirecional.....31

Figura 4: Matriz elétrica nacional em 2007.....32

Figura 5: Matriz elétrica nacional em 2021.....33

Figura 6: Sistema de biodigestão de uma fazenda. 36

Figura 7: Usina por biomassa utilizando o ciclo de Rankine para geração de energia elétrica.....37

Figura 8: Tipos de turbinas eólicas. 38

Figura 9: Exemplo de turbina de Savonius.....39

Figura 10: Exemplo de turbina de Darrieus. 40

Figura 11: Exemplo de turbina Darrieus-Savonius. 40

Figura 12: Representação de uma célula fotovoltaica. 42

Figura 13: Representação de uma PCH a fio d'água.....43

Figura 14: Tipos de veículos elétricos 44

Figura 15: Rede de distribuição utilizada para a simulação.....52

Figura 16: Circuito seis antes da falta e pós falta. 53

Figura 17: Realimentação do trecho do circuito seis pelo circuito um. 53

Figura 18: Final da simulação da manobra de *self-healing*.....54

Figura 19: Medidores inteligentes de Aparecida. 58

Figura 20: Diagrama do sistema chuveiro híbrido.....60

LISTA DE TABELAS

Número *Página*

Tabela 1. Projetos de implementação de redes inteligentes pelo Brasil. 63

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO **11**

Fundamentação teórica **12**

Justificativa para o desenvolvimento do trabalho **14**

Objetivos **14**

Objetivo Geral 14

Objetivos Específicos 14

Organização do Trabalho: **15**

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA **16**

2.1 O que é rede inteligente? **16**

2.1.1 Infraestrutura de comunicação de uma rede inteligente 17

2.2 Medidores de energia inteligente **19**

2.2.1 Tecnologias de comunicação 20

2.2.1.1 Power Line Communication (PLC) 21

2.2.1.2 Wireless ou sem fio 22

2.3 Micro e Minigeração distribuída **25**

DESAFIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE REDES INTELIGENTES **29**

3.1 Rede de distribuição **31**

3.2 Geração distribuída **32**

3.2.1. Principais fontes para geração distribuída 34

3.2.1.1 Biomassa e Biogás 34

3.2.1.1.1 Biodigestão 35

3.2.1.1.2 Queima direta da biomassa 36

3.2.1.1.3 Pellets (briquetes) 37

3.2.1.2 Eólica 38

3.2.1.3 Fotovoltaica 40

3.2.1.4 Hidrelétricas de pequeno porte 42

3.3 Veículos elétricos (VE) **43**

3.3.1 VE a baterias 44

3.3.2 VE híbrido 45

3.3.3 VE a célula de combustível 45

3.4 SEP brasileiro X Geração Distribuída 46

QUADRO NACIONAL 48

4.1 Smart City Laguna 48

4.2 Smart City Búzios 49

4.3 Smart City Sete Lagoas 51

4.4 Projeto Light para Smart Grid 54

4.5 Projeto Parintins 55

4.6 Projeto Smart Grid AES Eletropaulo 56

4.8 Projeto InovCity 57

4.9 Programa Rede Elétrica Inteligente (REI) 61

Conclusões Gerais 65

Referências 66

I N T R O D U Ç Ã O

O sistema elétrico como conhecemos não foi alvo de inovações significativas desde sua criação datada dos anos de 1888. Até os dias atuais são utilizadas tecnologias desenvolvidas na década de 80, o que limita a capacidade de inovação para este setor, apesar da crescente evolução tecnológica do meio, como na área de telecomunicações e eletrônica de potência, o sistema elétrico permaneceu, de certa forma, esganado no tempo.

Com a chegada da terceira revolução industrial, pós-segunda guerra mundial, a demanda por energia aumentou em escala global. A partir disto é cabível o pensamento de que, para seguir a crescente necessidade de energia, é necessário o desenvolvimento e atualização do sistema elétrico, o que não foi o ocorrido, as redes passaram a se espalhar e expandir de forma adjunta o uso de energia elétrica. E com o passar dos anos, novos desafios chegaram com a modernização da sociedade. Ameaças à segurança, o uso de fontes de energia alternativas e de caráter intermitente, redução de picos de demanda para melhorar a economia e o desenvolvimento de controles digitais para aumentar a confiabilidade do sistema são alguns exemplos de discussões presentes no século XXI.

Tornar o sistema elétrico moderno, seguro e acessível é essencial para o desenvolvimento da sociedade e para a economia. Segundo dados do Ministério de Minas e Energia (2021), o consumo de energia elétrica vem crescendo a uma média de 4% ao ano no Brasil e cerca de 2% ao ano no mundo, por conseguinte, governos de todo o globo buscam alternativas seguras e sustentáveis para atender esta demanda. Com o avanço científico e tecnológico, as redes elétricas devem ser inteligentes o suficiente para gerir de melhor forma os ativos alimentados ao sistema e assegurar o suporte de entrada de fontes renováveis, portanto, as redes terão melhor desempenho em suas operações o que reduzirá perdas técnicas e comerciais, permitindo a integração de seus consumidores.

Dessa forma, as expectativas são de que nos próximos anos o sistema elétrico global passará por mudanças provenientes da integração dos sistemas de tecnologias da informação e comunicação, como internet das coisas, além da inegável substituição de veículos movidos a motores a combustão por veículos elétricos e aumento das gerações por diferentes fontes de energia renováveis. Esse cenário caracteriza e caracterizará uma nova ideia de rede, composta por um sistema inteligente, as redes inteligentes.

Contudo, a implantação de um sistema de rede inteligente funcional e seguro tem sido alvo de debates pelo mundo todo. Esta tecnologia possui uma complexidade conceitual, uma vez que, é uma ideia que abrange diversas áreas da tecnologia, porém, com inúmeros benefícios às áreas de geração, transmissão e distribuição do setor elétrico, quando bem implantadas.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com o site da European Commission (2022?), a seção responsável pelo gerenciamento energético da União Europeia define *smart grid* como uma rede de energia elétrica que consegue automaticamente monitorar fluxos de potência e ajustar-se diante mudanças de fornecimento e demanda. Quando o sistema contém medidores de energia inteligentes, as *smart grids* conseguem providenciar dados em tempo real de consumo para fornecedores e consumidores. É um sistema cujo fornecimento de energia elétrica é aperfeiçoado, passível de maior confiabilidade, minimizando perdas de várias naturezas e é auto-recuperável (*self-healing*).

A primeira menção de *smart grid* foi realizada em um artigo publicado na revista IEEE P&E por Amin, S. Massoud e Wollenberg, Bruce F. chamado *Toward a Smart Grid* (2005). Neste artigo, o autor narra uma breve explicação de como o sistema elétrico dos Estados Unidos está evoluindo em demanda e como ele não foi projetado e pensado para isto, e propõem como solução à integração de técnicas desenvolvidas na área de telecomunicação, controle digital e automação aos setores de geração, transmissão e distribuição, com o objetivo de transformar a rede em algo inteligente.

Desde então ocorreu uma disseminação global do tema: governos de todo o mundo, adjunto de empresas de tecnologia e instituições de ensino e pesquisa, estudam e desenvolvem ideias, projetos e tecnologias para que seja possível automatizar o setor elétrico de suas regiões.

A princípio, o sistema elétrico de potência é dividido em três setores: o de geração, de transmissão e de distribuição. O que aconteceu, por décadas, foi a transmissão de energia na forma unidirecional, ou seja, as fontes geradoras geram eletricidade, que por sua vez é transmitida a toda uma região, através das linhas de transmissão, e, então, são distribuídas

aos consumidores finais pelo setor de distribuição da cidade. Entretanto, nas últimas duas décadas o desenvolvimento e evolução de tecnologias fomentou um novo mercado no Brasil, o setor das fontes de energia renováveis e, por conseguinte, da geração distribuída.

A geração distribuída, principalmente com a modalidade fotovoltaica, agregou ao sistema uma nova e mais rápida forma de obtenção de energia, trazendo a geração mais próxima dos centros de carga. Essa proximidade com os consumidores simplificou o processo unidirecional arcaico, uma vez que a energia não precisa percorrer longas distâncias para atender a demanda local, levando a menos perdas energéticas e econômicas, e maior eficiência do processo. Entretanto, a geração distribuída (GD) deu início ao próximo passo a bidirecionalidade, processo no qual o consumidor além de consumir, também consegue injetar energia na rede.

O relatório Smart Grid realizado pelo grupo de trabalho do Ministério de Minas e Energia (2021), expôs, a partir de palestras com diversas empresas do ramo de energia e de visitas realizadas nos Estados Unidos, como as redes de distribuição precisam se adaptar utilizando medidores inteligentes (*smart meters*) e à automação, por conta de falhas que comprometem o sistema e a questão do aumento da complexidade com a bidirecionalidade.

Seguindo o mesmo raciocínio de automação de rede, não demorou a surgir ideias de auto recuperação para falhas na rede de distribuição, portanto, não necessitando de intervenção de uma equipe no local. Segundo DUARTE et al (2016 apud SILVA e MOTOKI, 2021 ou 2022, p.03) citado no artigo "Aplicação de self-healing em rede smart grid para melhoria dos índices de continuidade", a tecnologia *self-healing*:

> Busca reduzir o tempo de restauração da rede elétrica através de equipamentos inteligentes, distribuídos em localidades pontuais da infraestrutura e o uso de controladores capazes de obterem dados e, posteriormente, enviar comandos que facilitem a localização e solução de adversidades na rede mediante manutenção preventiva.

No Brasil, o tema *smart grid* tomou maiores proporções a partir de 2010, quando as concessionárias de energia de alguns estados mais desenvolvidos do país iniciaram projetos com apoio do governo local, da ANEEL para regulamentação e de empresas terceirizadas que desenvolveram a tecnologia dos produtos utilizados nas *smart grids* (ENAP, 2021). Estes projetos foram criados para atender pontos de pesquisa e, por consequência, pequenas

cidades e vilas tiveram a honra de serem escolhidas, justamente por não possuírem um sistema de distribuição complexo comparado ao nível nacional ou de grandes cidades.

JUSTIFICATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Este trabalho é motivado a apresentar os desafios enfrentados no Brasil na incorporação de redes inteligentes no SIN (sistema interligado nacional), uma vez que o sistema elétrico do país possui uma extensão territorial continental e é extremamente complexo, com inúmeras usinas geradoras de energia e uma malha de transmissão que percorre norte a sul do país. Além disso, há o avanço tecnológico da eletrônica de potência e, por consequência, da geração de energia do consumidor final, agregando ainda mais complexidade ao SIN.

Dessa forma, os itens apresentados neste texto poderão servir de base para trabalhos subsequentes à implementação de novas tecnologias da área de redes inteligentes.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

O objetivo geral deste documento é situar o leitor nas dificuldades enfrentadas pelo país no desenvolvimento de redes inteligentes e como o governo, instituições de ensino e empresas do ramo do setor elétrico estão desenvolvendo pesquisas e projetos para que no futuro, seja possível a evolução da rede nacional.

Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

1. Elencar os principais problemas atuais enfrentados pelo setor elétrico que dificultam o uso de redes inteligentes no sistema;

2. Apresentar os projetos existentes no país os quais utilizam de alguns conceitos de redes inteligentes para desenvolvimento na área.

ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO:

No Capítulo 1 é apresentada uma revisão bibliográfica básica no intuito de situar o trabalho no contexto geral, e a motivação para o desenvolvimento do trabalho.

No Capítulo 2 é apresentada uma fundamentação teórica sobre itens mencionados no decorrer do trabalho, os quais o leitor deve conhecer para uma melhor compreensão do tema dado.

No Capítulo 3 são apresentadas as áreas nas quais há empecilhos para a implementação de redes inteligentes.

No Capítulo 4 são apresentados os projetos existentes no país a fim de desenvolver pesquisas e tecnologia para execução de um projeto de rede inteligente em uma maior escala.

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões finais e propostas de continuidade do trabalho.

F U N D A M E N T A Ç Ã O T E Ó R I C A

2.1 O QUE É REDE INTELIGENTE?

A OICSS (observatório de inovação para cidades inteligentes) juntamente com o CGEE (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos) definem rede inteligente como a junção de conceitos e tecnologias atuais de telecomunicação, de controle e automação e controle digital, que objetivam o gerenciamento mais eficientemente do fluxo de potência e a comunicação de dados de um sistema elétrico.

Com a produção de energia pelas fontes de geração distribuída, as *smart grids* surgem para facilitar a integração desta modalidade com o sistema primário de geração, uma vez que a maioria das fontes utilizadas pelos consumidores são fontes intermitentes, como a solar. Além disso, permite o monitoramento em tempo real dos sistemas de transmissão e a integração total de veículos elétricos à rede de distribuição. Portanto, há um controle mais incisivo sobre o sistema garantindo, consequentemente, maior eficiência, confiabilidade e segurança (OICS, 2020?).

Para que aconteça o que foi mencionado no parágrafo anterior, são usados sistemas de telecomunicação de duas vias, nos quais centros de controle comandam a operação de medidores inteligentes instalados nas unidades consumidoras, visando: o gerenciamento da demanda dos dispositivos inteligentes, que são conectados ao medidor, principalmente nos horários de pico. Os centros de controle também realizam a leitura dos dados transmitidos pelos medidores, a fim de ter o controle de quando é necessário a realização de manutenções preventivas e receberem dados em tempo real do estado em que a rede elétrica se encontra, podendo, portanto, identificar quedas de energia e pontos de falhas (OICS, 2020?).

O desenvolvimento de redes inteligentes partiu do escopo de melhorar a eficácia e gestão de várias partes do setor elétrico, das quais se pode citar: aperfeiçoamento da segurança e operação do sistema, economia e eficiência na conversão de energia, atrelada com as fontes de geração distribuída e de energia renováveis, confiabilidade e

disponibilidade de energia, além de melhorar a qualidade da energia elétrica fornecida aos consumidores. A partir da procura em resolver estes problemas algumas aplicações estão sendo estudadas e desenvolvidas, como bem exemplifica a professora Yona Lopes (PPGEET/UFF) em seu seminário "Comunicação para Smart Grids: Oportunidades e Desafios" pelo Instituto de Computação da UFF (2021), são elas:

• Infraestrutura de medição avançada e medição inteligente.

• Resposta à demanda e gestão pelo lado da demanda.

• Plantas de energia virtuais (VPP).

• Gerenciamento de ativos.

• Automação de subestações.

• Microgrids.

• Sistema de armazenamento de energia.

• Veículos elétricos.

• Automação da distribuição.

2.1.1 Infraestrutura de comunicação de uma rede inteligente

Como muito bem demonstrado por Baimel, D., Tapuchi, S., Baimel, N. (2016), *smart grids* podem ser caracterizadas em três tipos de infraestruturas de rede, sendo elas:

- HAN – Rede de área residencial, do inglês *Home Area Network,* esta infraestrutura é caracterizada por atender os consumidores finais presentes no sistema elétrico de potência, como residências e comércios locais. Uma vez que operam em pequenas áreas, as HAN's possuem baixa taxa de transmissão de dados e, normalmente, estes dados são compartilhados via internet através de conexão *Wi-fi*, podendo ser acessados em celulares e computadores. Em uma aplicação direta na rede inteligente, as informações

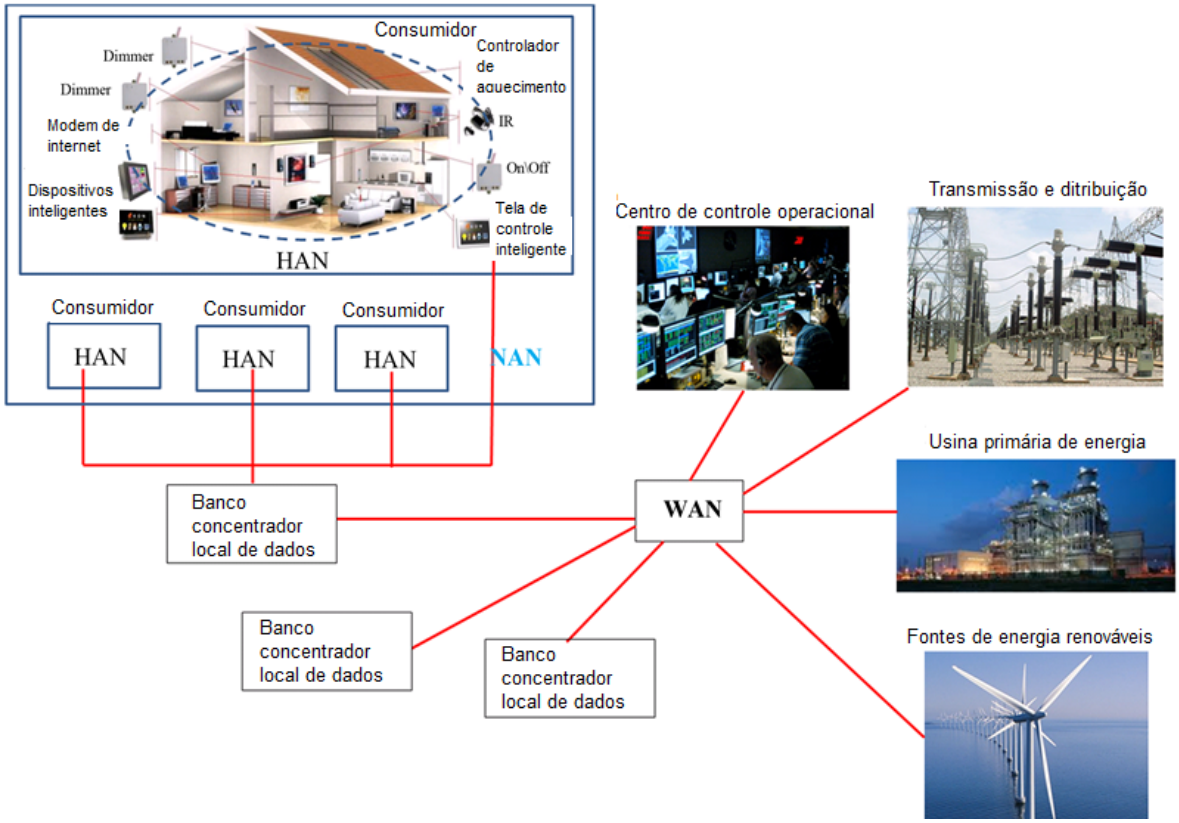
de geração ou consumo de energia elétrica adquiridas pela HAN, seriam transmitidas a um medidor de energia inteligente que, por sua vez, regularia o fluxo de potência do local a partir da demanda necessária para atendê-lo;

- NAN – Rede de vizinhança, do inglês *Neighborhood Area Network*. A região de operação de uma NAN é formada por múltiplas HAN's, portanto a taxa de transmissão de dados aumenta significativamente. Em regiões que existam NAN's os dados recolhidos pelas HAN's são enviados ao medidor inteligente individual de cada consumidor e, então a um banco de dados, no qual uma central de controle possui acesso, e a partir das interpretações das informações, as centrais podem realizar diversas ações como mandar cobranças aos consumidores, realizar desligamentos de bidirecionalidade nos medidores inteligentes de HAN's que estejam injetando energia na rede sem que exista demanda para atender, além de os dados ajudarem a entender a curva de carga da região;

- WAN – Rede de área ampla, do inglês *Wide Area Network*. Por sua vez, a WAN abrange várias NAN's, com uma taxa de transmissão de dados altíssima, ela requer grandes centros de controle e operação, pois além de receber e analisar os dados de NAN's conectadas na *smart grid*, uma WAN possui também os dados recolhidos por todo o sistema elétrico atendido por ela, desde linhas de transmissão e distribuição até todas as fontes geradoras que a proveem de energia elétrica.

Na Figura 1, é possível observar um exemplo de *smart grid* utilizando-se das infraestruturas mencionadas.

Figura 1: Infraestrutura de comunicação de redes inteligentes.



Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Baimel, D. , Tapuchi, S. and Baimel, N., 2016.

2.2 MEDIDORES DE ENERGIA INTELIGENTE

Pelo setor de energia elétrica da União Europeia no site European Commission (2022?), um medidor de energia elétrica inteligente é um tipo de sistema que possui capacidade de realizar a leitura de valores de tensão e corrente consumida ou injetada na rede elétrica, fenômeno chamado de bidirecionalidade, por consequência, aumentando a quantidade de informação adquirida no local onde se encontra instalado.

Este medidor utiliza conversores digitais para realização do registro de consumo local. A OICS (2020?) ainda diz que a classe de exatidão desse tipo de medidor é determinada através do poder de processamento de seus conversores digitais.

Os dados obtidos pelos aparelhos são transmitidos para centrais de comando e consumidores, os quais podem acompanhar um *feedback* em tempo real do aparelho, garantindo maior confiabilidade e segurança aos interessados. Além disto, mediante a possível interface entre os medidores digitais e aparelhos inteligentes, a curva de carga do sistema de distribuição pode ser corrigida conforme necessidade e demanda da rede (FILIPPE, BRUNO; PEDRO, LUCIANO, 2012).

De acordo com o site da Iberdrola (2020?), empresa responsável por 60% da Neoenergia no Brasil, os medidores inteligentes incluem um interruptor limitador de potência, dessa forma não há necessidade de instalá-lo com um disjuntor nos quadros de medição dos consumidores. Com relação à comunicação e transferências de dados, a visão de Filippe e Pedro (2012) foi concretizada, o aparelho possui uma interface que estabelece uma conexão remota entre ele e as centrais de controle, o que possibilita a realização de medição de energia ativa e reativa, execução de manobras de forma remota, geração de relatórios de tabelas tarifárias, histórico de curva de demanda do local ou região, avaliação do fator de potência e medição de tensão e corrente.

2.2.1 Tecnologias de comunicação

Como descrito anteriormente, os medidores inteligentes possuem a capacidade de realizar comunicação bidirecional entre os equipamentos instalados na rede e nos consumidores finais. Para isso, existem algumas tecnologias que auxiliam na implementação desta transferência de dados.

Alonso, Augusto (2014) aponta a importância de estudos efetivos na área de comunicação para uma integração mais profunda e compatível para o funcionamento de uma rede inteligente, pois, para empregar uma rede inteligente são utilizadas diversas tecnologias de várias áreas em sua infraestrutura. Sem o estabelecimento de padrões de comunicação entre os elementos para que exista interoperabilidade e eficiência no processo de dados, a tecnologia acaba por não ter aplicabilidade.

2.2.1.1 PowerLine Communication (PLC)

Powerline Communication ou PLC é uma sugestão de tecnologia de comunicação cujo embasamento é dado pela transferência de dados paralelamente a uma rede de transmissão de energia de um sistema elétrico de potência. As principais vantagens de seu uso são (ALONSO, AUGUSTO, 2014):

- Acesso a todo o percurso do sistema de transmissão de energia;
- Não há necessidade de nova infraestrutura de cabeamento, pois utiliza da mesma estrutura das linhas;
- As faixas de frequência podem ser divididas para transferência de dados específicos;
- Pode ser combinada com tipos de tecnologias diversos;
- Oferece taxas mais altas de aquisição de dados para o estabelecimento de redes de comunicação;

Esta tecnologia é vista pelo conceito de rede inteligente como sendo promissora, entretanto apresenta limitações que colocam em dúvida sua candidatura como solucionadora do estabelecimento da interoperabilidade das infraestruturas de comunicação (AALAMIFAR, F; HASSANEIN, H.; TAKAHARA, G., 2012). Estas limitações são encontradas na (ALONSO, AUGUSTO, 2014):

Baixa segurança na transmissão dos dados;

Regulamentação vigente no Brasil;

Oscilações de cargas e desbalanceamento do sistema;

Degradação do sinal nas instalações mais antigas;

Os dados ficam a mercê de ruídos e interferências eletromagnéticas;

Isto se deve ao fato de a infraestrutura da rede elétrica não ter sido projetada para realizar transmissão de dados simultaneamente à energia. Além disso, a tecnologia PLC apresenta problemas relacionados à segurança na transmissão e processamento de dados, portanto, é necessário realizar criptografias nas informações. Ademais, Sistemas Elétricos de Potência (SEP's) são sistemas que possuem alta emissão de ruídos, uma vez que lidam com valores na casa de MW e possuem toda a dinâmica oscilatória de carga pesada e carga leve durante o dia. Dessa forma, estes itens podem provocar variações nos sinais da PLC, mesmo com a atuação em diferentes frequências (ALONSO, AUGUSTO, 2014).

2.2.1.2 Wireless ou sem fio

As redes wireless são uma importante ferramenta no conceito de rede inteligente, uma vez que seus nós de comunicação são elos críticos, tanto na transmissão quanto no processamento de dados adquiridos por várias fontes, inseridas dentro da complexidade de uma rede inteligente (ALONSO, AUGUSTO, 2014). Portanto, de acordo com nível e alcance, é necessária a devida adequação da tecnologia sem fio a ser utilizada de acordo com cada aplicação.

A adequação de qual tipo de tecnologia wireless utilizar deve-se ao fato de certos tipos possuírem propriedades mais específicas e oferecerem benefícios que não são aplicados quando outra técnica é aplicada ao mesmo problema (ALONSO, AUGUSTO, 2014). Dentre as variações no processo de transferência de dados sem fio destacam-se o ZigBee, MESH, WLAN, WiMax e as tecnologias 3G, 4G e mais recentemente o 5G.

ZigBee: A tecnologia ZigBee possui padrão de comunicação wireless mesh que é melhor utilizada pelas HAN's ou PAN's (personal area network ou rede de área pessoal), possuindo uma área de cobertura de até cinquenta metros. Esta tecnologia possui interoperabilidade com produtos que têm conexão por ZigBee Alliance e IEEE 802.15.4-2003 e suas aplicações dentro de rede inteligente são: o gerenciamento e monitoramento da demanda de energia da HAN e na conexão dos medidores inteligentes com os outros equipamentos inteligentes das HAN's, como iluminação inteligente e equipamentos eletrônicos (ALONSO, AUGUSTO, 2014).

Suas principais vantagens são o baixo custo e baixo consumo de potência, a rede Mesh é auto organizável e a baixa taxa de transferência de dados dá suporte a um número maior de usuários. Por outro lado, a ligação à ZigBee Alliance possui problemas de segurança e a especificação para energia inteligente ainda está em desenvolvimento (ALONSO, AUGUSTO, 2014).

MESH: É uma rede de comunicação feita por nós de ondas de rádio organizadas em topologia MESH, onde todos os nós são interligados. Esta tecnologia utiliza o protocolo IEEE 802.11; 802.16 e tem uma área de cobertura de até cerca de vinte e quatro quilômetros. Suas aplicações em redes inteligentes são: a conexão da última linha para as residências e nós de construção, uma infraestrutura de medição avançada ou AMI (*Advanced Metering Infrastructure*) e a possibilidade do monitoramento remoto (ALONSO, AUGUSTO, 2014).

As vantagens no uso desta tecnologia são: a configuração MIMO que garante maior taxa de transferência de dados e rapidez, a integração de antenas ao sistema, a facilidade em escalar quando necessário e ela consegue continuar dando cobertura, até certo ponto, mesmo com obstáculos e falhas. Entretanto, a tecnologia sofre com a transmissão dos dados até seu destino final por conta de latência, uma vez que deve passar por vários nós do sistema, outro ponto desinteressante é a crescente complexidade do sistema a cada nó adicionado (ALONSO, AUGUSTO, 2014).

WLAN: é uma tecnologia de comunicação utilizada dentro de HAN's com protocolo IEEE 802.11b/g/ n, possuindo uma cobertura de sinal de cem metros em ambientes fechados e duzentos e cinquenta para ambientes abertos (ALONSO, AUGUSTO, 2014).

Seu custo é baixo, possui vários tipos de usos e seu conhecimento foi amplamente estudado, outro ponto vantajoso é a estabilidade do sinal e do protocolo, que também é desenvolvido. Todavia, sua a área de cobertura é baixa e possui problemas com segurança (ALONSO, AUGUSTO, 2014).

WiMax: Wireless MAN (*metropolitan area network*), é uma cobertura de sinal sem fio para metrópoles, com protocolo IEEE 802.16d2004 possuindo um alcance de quatro quilômetros e oitocentos metros até seis quilômetros e meio. Sua aplicação em rede inteligente é dada pela AMI, assim como no MESH (ALONSO, AUGUSTO, 2014).

Suas principais vantagens são: a eficiente transferência de dados por conta do AMI, suas redes são escaláveis e simples, sua velocidade é mais rápida comparada à tecnologia 3G e tem variedade de projetos para *gateways*. Já suas desvantagens são: a perda de altas taxas de transmissão a longas distâncias e a largura de banda é compartilhada (ALONSO, AUGUSTO, 2014).

3G, 4G e 5G: Estas tecnologias são wireless de áreas extensas para realização de ligações telefônicas, chamadas de vídeo e transferência de dados, com velocidade para a transmissão de 14,4 Mb/s, 300Mb/s e 1Gb/s a 3Gb/s, respectivamente (TISOTT, CAROLINA, 2021).

A tecnologia 3G surgiu por volta de 2000 utilizando dos protocolos como UMTS, EDGE, EVDO e seu alcance varia de acordo com o terreno e obstáculos (ALONSO, AUGUSTO, 2014). A taxa de transferência de dados dessa geração chegou a ser 14,4 Mb/s no estado estacionário e 350 kb/s no estado móvel, o que possibilitou o surgimento de chamadas de vídeo e envio de mensagens de outras mídias além dos textos (TISOTT, CAROLINA, 2021).

Tem as vantagens de ser uma tecnologia amplamente utilizada, já existindo infraestruturas instaladas, é padronizado via regulamentações ANATEL e possui vasta variedade de comercializadores de serviço. Porém, são redes que apresentam instabilidade dependendo da região, são inseguras, não são aptas às grandes transferências de dados e nem a aplicações de alta largura de banda (ALONSO, AUGUSTO, 2014).

A geração 4G surgiu no ano de 2010 e continua sendo a mais utilizada ao redor do globo, com cerca de 300 Mb/s na taxa de transferência de dados com padrão LTE, esse avanço trouxe a possibilidade da conexão de outros dispositivos inteligentes a um sistema (TISOTT, CAROLINA, 2021).

Suas principais vantagens são a alta velocidade de transmissão de informação, a gama de equipamentos que podem se comunicar através da banda de frequência e o 4G ainda possui a característica de conseguir transmitir dados em mais de uma frequência, aumentando ainda mais a velocidade. Já suas desvantagens se dão pela facilidade em invadir a rede quando não protegida, algumas regiões possuem problema de estabilidade, para

algumas aplicações possui alta latência e existem alguns problemas que dificultam a conexão de grandes quantidades de dispositivos inteligentes (TISOTT, CAROLINA, 2021).

Por fim, a geração 5G com seu começo no ano de 2018 e que está em crescente desenvolvimento, apresenta padrão de comunicação IMT-2020 operando em três bandas de frequência as quais são: a de baixa, média e alta frequências (TISOTT, CAROLINA, 2021).

A banda de baixa frequência é caracterizada pela faixa de frequência entre 600 MHz a 700 MHz com uma velocidade de transferência de dados de 30 a 250 Mb/s dando cobertura a uma área de centenas de quilômetros, tendo alcance até mesmo em zonas rurais. A banda de média frequência, a qual preenche a faixa entre 2.5 a 3.5 GHz, possuindo uma taxa de transmissão de dados entre 100 a 900 Mb/s. Já a banda de alta frequência está no espectro de 24 a 39 GHz constituindo um *range* de velocidade de 1 a 3 Gb/s (HORWITZ, JEREMY, 2019).

Tisott, Carolina (2021) ainda fala em seu trabalho que a banda de alta frequência é caracterizada por utilizar ondas milimétricas para a transferência de dados, ou seja, nas frequências entre 24 a 39 GHz o comprimento de onda tem variação de 12,5 a 7,7 mm. Esse fato possibilita às ondas a criação de feixes mais estreitos o que acarreta em uma maior velocidade na hora de transmitir informações, menor latência e maior segurança, ademais, esses tipos de ondas evitam congestionamento de informação por possuírem maior largura de banda.

2.3 MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA

No dia dezessete de abril de 2012, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) publicou o primeiro documento que tratava sobre a geração distribuída, a Resolução Normativa ANEEL n° 482/2012, esta regulamentação deu início a possibilidade de todos os consumidores poderem gerar sua própria energia através de fontes como solar, eólica e até mesmo hidráulica, e vendê-la através do sistema elétrico de potência, criando os conceitos de micro e minigeração e, crédito de energia, por exemplo.

Atualizada em 2017, a então REN 482/2012 foi reescrita e tornou-se a REN 786/2017 cujo principal intuito se deu no sistema de compensação de energia elétrica. Esse

mecanismo permitiu ao prossumidor (consumidor e produtor de energia elétrica) injetar energia na rede em um horário do dia e consumir em outro, a partir do crédito de energia em kWh gerado pela injeção excedente de potência (DE CASTRO, NIVALDE; CÂMARA, LORRANE; MOSZKOWICZ MAURICIO, 2021).

O maior exemplo que se tem é dado pela geração fotovoltaica, onde o excedente gerado nos períodos do dia de alta radiação solar é injetado na rede de distribuição. E durante a noite, quando a geração distribuída fica inoperante, o prossumidor é alimentado pela rede de distribuição.

Entretanto, a compensação não considera os serviços de rede providos pelas concessionárias de energia, uma vez que devem responder tanto pela injeção como utilização da energia pelo prossumidor. A REN 786/2017 permitiu aos prossumidores a isenção dos custos de manutenção da rede elétrica, apesar de usufruírem da infraestrutura disponibilizada pela distribuidora (DE CASTRO, NIVALDE; CÂMARA, LORRANE; MOSZKOWICZ MAURICIO, 2021).

Porém, como os custos não deixaram de existir e muitos menos diminuíram por conta da geração distribuída, os valores foram transferidos aos consumidores, os quais não possuíam qualquer meio para injetar energia na rede. Essa característica pode ser considerada como sendo um subsídio cruzado entre os consumidores “sem painéis solares” para os prossumidores (DE CASTRO, NIVALDE; CÂMARA, LORRANE; MOSZKOWICZ MAURICIO, 2021).

Ao longo dos anos seguintes, percebeu-se que existiam problemas com relação à normativa de 2012 e sua atualização de 2017, principalmente para com alguns conceitos/definições e responsabilidades financeiras, o que, consequentemente, ocasionaram problemas tanto para consumidores quanto para as concessionárias de energia.

Foi então que em seis de janeiro de 2022, a lei 14.300 o marco legal da geração distribuída, foi sancionada e com ela aqueles e outros problemas da antiga resolução da ANEEL foram abordados, analisados, discutidos e resolvidos até o presente momento.

A lei 14.300/22 dispõe de trinta e sete artigos, contidos em sete capítulos nos quais:

- O primeiro artigo define alguns conceitos.

Art. 1º Para fins e efeitos desta Lei, são adotadas as seguintes definições:

I - autoconsumo local: modalidade de microgeração ou minigeração distribuída eletricamente junto à carga, participante do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), no qual o excedente de energia elétrica gerado por unidade consumidora de titularidade de um consumidor-gerador, pessoa física ou jurídica, é compensado ou creditado pela mesma unidade consumidora;

II - autoconsumo remoto: modalidade caracterizada por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma pessoa jurídica, incluídas matriz e filial, ou pessoa física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída, com atendimento de todas as unidades consumidoras pela mesma distribuidora;

IX - fontes despacháveis: as hidrelétricas, incluídas aquelas a fio d'água que possuam viabilidade de controle variável de sua geração de energia, cogeração qualificada, biomassa, biogás e fontes de geração fotovoltaica, limitadas, nesse caso, a 3 MW (três megawatts) de potência instalada, com baterias cujos montantes de energia despachada aos consumidores finais apresentam capacidade de modulação de geração por meio do armazenamento de energia em baterias, em quantidade de, pelo menos, 20% (vinte por cento) da capacidade de geração mensal da central geradora que podem ser despachados por meio de um controlador local ou remoto;

XI - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada, em corrente alternada, menor ou igual a 75 kW (setenta e cinco quilowatts) e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras;

XII - microrrede: integração de vários recursos de geração distribuída, armazenamento de energia elétrica e cargas em sistema de distribuição secundário capaz de operar conectado a uma rede principal de distribuição de energia elétrica e também de forma isolada, controlando os parâmetros de eletricidade e provendo condições para ações de recomposição e de autorrestabelecimento;

XIII - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica renovável ou de cogeração qualificada que não se classifica como microgeração distribuída e que possua potência instalada, em corrente alternada, maior que 75 kW (setenta e cinco quilowatts), menor ou igual a 5 MW (cinco megawatts) para as fontes despacháveis e menor ou igual a 3 MW (três megawatts) para as fontes não despacháveis, conforme regulamentação da Aneel, conectada na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras;

XIV - Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE): sistema no qual a energia ativa é injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída na rede da

> distribuidora local, cedida a título de empréstimo gratuito e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa ou contabilizada como crédito de energia de unidades consumidoras participantes do sistema.

- O vigésimo oitavo artigo faz a confirmação da característica de micro e minigeração como meios de produção de energia para consumo próprio.

> Art. 28. A microgeração e a minigeração distribuídas caracterizam-se como produção de energia elétrica para consumo próprio.

É no vigésimo sétimo artigo em que os problemas tarifários existentes na REN 786/17 foram corrigidos. Nele é dito que:

> o faturamento de energia das unidades participantes do SCEE não abrangidas pelo art. 26 desta Lei deve considerar a incidência sobre toda a energia elétrica ativa compensada dos seguintes percentuais das componentes tarifárias relativas à remuneração dos ativos do serviço de distribuição, à quota de reintegração regulatória (depreciação) dos ativos de distribuição e ao custo de operação e manutenção do serviço de distribuição.

Em outras palavras, as unidades consumidoras que já tinham acesso ao sistema de compensação de energia antes da lei entrar em vigor e aquelas que pedissem entrada até um ano após a data de publicação da norma, ficariam isentas das tarifas relativas à remuneração dos ativos e do serviço de distribuição até dezembro de 2045. A partir dos anos seguintes, quem adentrar o sistema de compensação deverá pagar as taxas, porém, um percentual diferente a cada ano até chegar aos 100% das tarifas a partir de 2029.

> I - 15% (quinze por cento) a partir de 2023;
>
> II - 30% (trinta por cento) a partir de 2024;
>
> III - 45% (quarenta e cinco por cento) a partir de 2025;
>
> IV - 60% (sessenta por cento) a partir de 2026;
>
> V - 75% (setenta e cinco por cento) a partir de 2027;
>
> VI - 90% (noventa por cento) a partir de 2028;
>
> VII - a regra disposta no art. 17 desta Lei a partir de 2029.

DESAFIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE REDES INTELIGENTES

No surgimento do sistema elétrico brasileiro no início do século XX, não existiam pensamentos ou estudos com relação à inteligência e comunicação das interfaces presentes na rede, uma vez que a tecnologia era muito mais mecânica e os próprios computadores ainda estavam em desenvolvimento e realizavam apenas operações básicas de matemática. Então o sistema foi e continuou sendo projetado até o início do século XXI de forma unidirecional, ou seja, as usinas geravam energia através da força das águas ou queima de combustíveis, a potência gerada passava por uma subestação de elevação para seguir para as linhas de transmissão, que por sua vez transportava esta energia até as linhas de distribuição dos consumidores, depois de passar por uma subestação abaixadora.

Figura 2: Representação do SEP atual.

Fonte: Henrique, Leonardo, 2019.

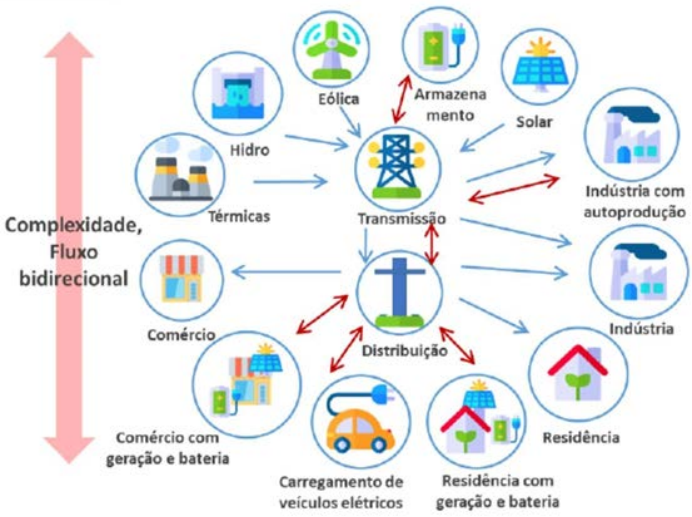
Portanto, nos dias atuais as redes de transmissão e distribuição de energia apresentam falhas de operação e qualidade, uma vez que não fora pensado com antecedência, na crescente demanda e no quão explosivo e intrínseco é a necessidade por cada vez mais energia na sociedade, o que tem como consequência: congestionamento de fluxo de potência, falhas de segurança e confiabilidade. A partir destas falhas, novos conceitos e estudos surgiram para tentar resolvê-las, melhorar e automatizar o sistema elétrico: a junção desses estudos caracteriza uma rede inteligente.

Por isso, consumidor e concessionária de energia precisam almejar a eficiência atrelada com um serviço de qualidade. Atualmente, há muito pouco conhecimento e controle dos perfis de uso dos consumidores, já que ao receber a fatura final do mês, a única informação pertinente é do seu consumo total, o que dificulta o uso racional de energia. Se apresentar ao cliente sua curva de carga, ele teria mais informação para realizar o controle de seus gastos, poderia até descobrir qual equipamento está consumindo de forma exagerada. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2021).

Já as concessionárias, com alguma forma de obtenção de tecnologia e dados, não precisariam da inconveniência de possuir funcionários para ir de porta em porta anotando o consumo de seus atendidos, muito menos necessitaria de receber chamados de seus clientes quando há queda de energia por algum motivo e ainda não perderiam tempo de realizar, manualmente, um desligamento ou religamento de unidades consumidoras. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2021).

A Figura 3 mostra o sentido no qual o sistema elétrico de potência está evoluindo, nela pode-se observar a bidirecionalidade do fluxo de potência, ou seja, o sistema entrega e recebe energia.

Figura 3: Representação do SEP com fluxo bidirecional.



Fonte: Henrique, Leonardo, 2019.

3.1 REDE DE DISTRIBUIÇÃO

O primeiro passo para a automatização do setor elétrico se encontra logo no consumidor final de energia, com a implementação dos medidores de energia elétrica inteligentes. Nesta etapa é necessário a troca dos relógios de medição de energia padrões, tanto mecânicos como digitais, por medidores que consigam transmitir e receber dados das HAN's para a NAN.

Com o advento da tecnologia 5G e internet das coisas, equipamentos eletrônicos interligados por Wi-Fi e comunicação sem fio (equipamentos inteligentes), poderão comunicar-se com os novos medidores, dessa forma caracterizando a estrutura de rede doméstica (HAN), o que possibilita o controle do fluxo de potência existente na residência ou comércio, onde cada aparelho comunicará ao medidor a quantidade de energia que está utilizando e o medidor controlaria a demanda entregue ao consumidor (FILIPPE, BRUNO; PEDRO, LUCIANO, 2012).

Como os medidores inteligentes estarão conectados na mesma rede de internet que o comércio ou residência, além de ter os dados repassados à NAN local para o controle do fluxo de potência, estes dados poderão ser disponibilizados em serviços online e aplicativos

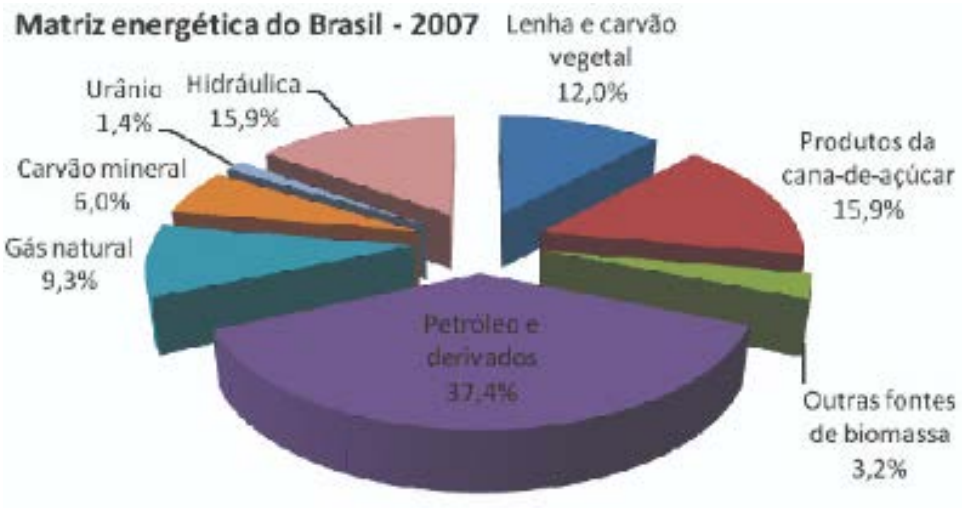
para que o consumidor consiga ter um acompanhamento em tempo real de consumo e injeção de energia, problemas na rede, cortes de energia, etc.

O próximo passo em direção à automatização é a capacidade e flexibilidade dos alimentadores de se reconfigurarem conforme necessidade da rede inteligente (FILIPPE, BRUNO; PEDRO, LUCIANO, 2012). A partir de uma falta, o sistema precisa se readequar ou auto recuperar (*self-healing*) encontrando novos caminhos de alta eficiência para que a falha atinja a menor área possível e, para isso, a rede precisa contar com equipamentos capazes de gerir a transferência do fluxo e isolar adequadamente o ponto no qual ocorreu a falha no menor espaço de tempo possível (MARTINS, PEDRO; MOTOKI, EDISON).

3.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Diante da crescente demanda por energia, do aumento do nível dos gases causadores do efeito estufa e da iminente seca das jazidas de combustíveis fósseis, as fontes de energia renováveis ganharam um olhar mais incisivo no século XXI. A partir de 2012 com a Resolução n° 482/2012 da ANEEL, o brasileiro encontrou-se motivado a gerar sua própria energia, foi então que a matriz de geração energética do país começou a ser transformada. Nas Figuras 4 e 5 é possível observar a evolução da matriz elétrica nacional.

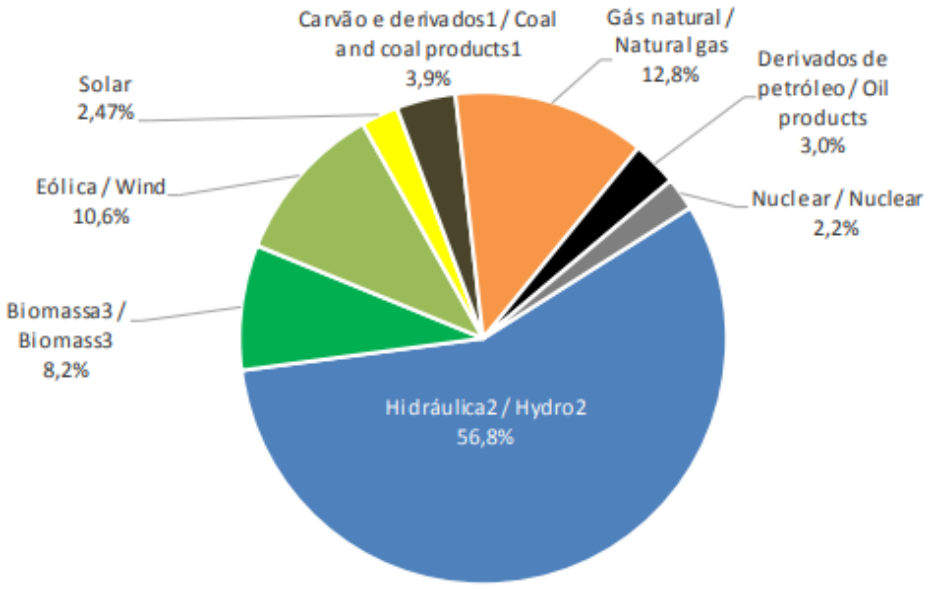
Figura 4: Matriz elétrica nacional em 2007



Fonte: MME, EPE, (2008).

Em 2007 mal existiam fontes de energia renováveis, cerca de 51,7% de toda a matriz elétrica do Brasil era constituída por combustíveis fósseis e causadores do efeito estufa. Entretanto, a biomassa era uma prévia da utilização de fontes renováveis, que com o passar dos anos iria aumentar cada vez mais.

Figura 5: Matriz elétrica nacional em 2021



Fonte: MME, EPE, (2022).

É notável a gritante diferença entre o gráfico da Figura 5 e o da Figura 4, principalmente pelo altíssimo indicador da geração por usinas hidroelétricas, nos anos subsequentes a 2007 o número desses empreendimentos que entraram em operação foi exorbitante: mais de 30 usinas tiveram seus trabalhos iniciados de 2008 a 2019, aumentando a fonte por energia hidráulica para 56,8% da geração total de energia do país. (ANEEL, 2023). Este fato quase extinguiu o uso de petróleo e seus derivados na matriz elétrica nacional, além de diminuir o uso do carvão mineral. Outro ponto importante é o aumento das taxas de fontes renováveis, advindas da fotovoltaica, eólica e de biomassa devido às normas publicadas pelos agentes responsáveis pelo setor no país e a facilidade em adquiri-las.

Desde então, os consumidores caracterizados como mini ou microgeradores não são vistos somente como compradores de energia, eles acabaram se tornando vendedores também, independentes do tipo de fonte utilizada para a geração de energia, seja por painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas ou armazenamento de energia por células de baterias, o excedente gerado é diretamente injetado na rede para que outros locais utilizem. Em redes inteligentes, tais sistemas alimentarão diretamente as cargas, estando conectados à rede de energia elétrica, o que necessita de uma rigorosa observância das prerrogativas estabelecidas pela lei 14.300.

3.2.1. Principais fontes para geração distribuída

Estabelecida pelo governo através da lei 14.300, as principais fontes energéticas que se enquadram na geração distribuída são:

- Biomassa e biogás;
- Eólica;
- Fotovoltaica;
- Hidrelétricas de pequeno porte;

3.2.1.1 Biomassa e Biogás

O Brasil é favorecido por suas características climáticas e extensão territorial, o que permite a adesão de diversas matrizes de forma abrangente a integrar as fontes de biomassa para geração de energia. Atualmente, o EPE em parceria com Ministério de Minas e Energia (2018) confirma que as principais matérias-primas utilizadas para esta modalidade de geração de energia são:

- Recursos provenientes do setor econômico primário como resíduos da cana-de-açúcar, palha de soja e milho, casca e detritos de grãos e resíduos provenientes da pecuária intensiva;

- Recursos provenientes do setor econômico secundário como resíduos provenientes de indústrias madeireiras e de agroindústrias;

- Recursos das regiões urbanizadas como lodo de estações de tratamento de esgoto e resíduos sólidos urbanos.

De acordo com a matéria-prima que possibilita o maior aproveitamento na conversão em eletricidade, têm-se os seguintes agrupamentos das biomassas mencionadas acima.

3.2.1.1.1 Biodigestão

As biomassas contribuintes na produção de biogás através da biodigestão são, em maior parte, as líquidas ou pastosas, que dentre as citadas destacam-se os resíduos da agroindústria e da pecuária de confinamento, resíduos sólidos urbanos e lodo das estações de tratamento de esgoto. (EPE, 2018). Com um menor rendimento energético, mas que poderiam contribuir pouco ou de forma indireta no processo, incluem-se os bagaços vegetais, palhas e os resíduos agrícolas, além dos resíduos sólidos urbanos.

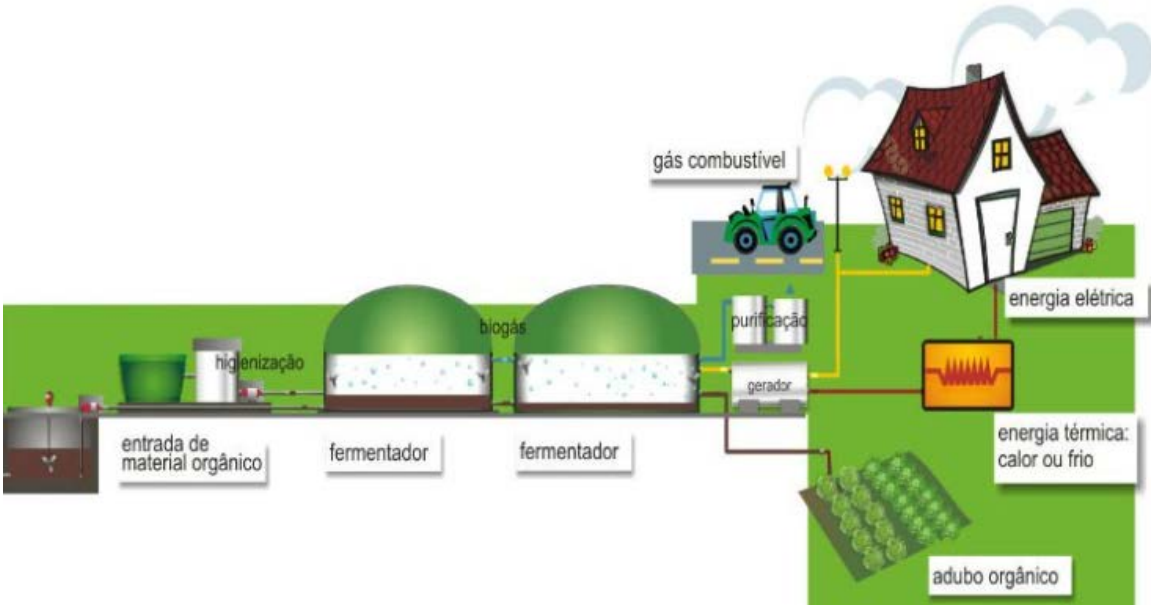
O processo necessário para a obtenção de biogás é chamado de digestão anaeróbica, nele a biomassa é colocada em um biodigestor e bactérias anaeróbicas convertem o material orgânico em dióxido de carbono, metano e lodo. A mistura dos gases mencionados é o próprio biogás que por sua vez pode passar por alguns processos químicos para separação do metano que possui propriedades semelhantes ao gás natural e pode ser utilizado como seu substituto. A fim de obter-se energia elétrica, o biogás pode ser utilizado na alimentação direta de turbinas a gás através do ciclo de Brayton[1] e também pode ser queimado em geradores especializados. (EPE, 2018).

A Figura 6 demonstra todo o sistema de biodigestão e a finalidade do biogás (utilizado no gerador para produzir energia elétrica), do metano purificado (combustível para motores a gás) e do lodo (fertilizante) gerado pela usina.

---

[1] O ciclo Brayton, é representado pelas turbinas a gás, industriais ou aeroderivadas, nele ocorre um processo contínuo na câmara de combustão, onde ar pressurizado e combustível líquido ou gasoso reagem , aumentando a temperatura e pressão do gás resultante da queima. Este gás é direcionado à turbina, onde sua energia é convertida em energia cinética, que por sua vez, movimenta as palhetas da turbina, gerando potência mecânica que então é convergida em energia elétrica através de um gerador. Na medida em que o fluido fornece trabalho às palhetas, sua pressão e temperatura são reduzidos até a exaustão dos gases da turbina.

Figura 6: Sistema de biodigestão de uma fazenda.



Fonte: PATRICIABOMBS, 2010.

3.2.1.1.2 Queima direta da biomassa

Na combustão direta da biomassa, os melhores insumos em questão de eficiência energética são os sólidos secos, são eles: resíduos agrícolas (palhas, cascas, bagaço, madeira) e resíduos sólidos urbanos. Neste sentido, o ciclo Rankine é o que usa de forma mais eficiente este recurso energético.

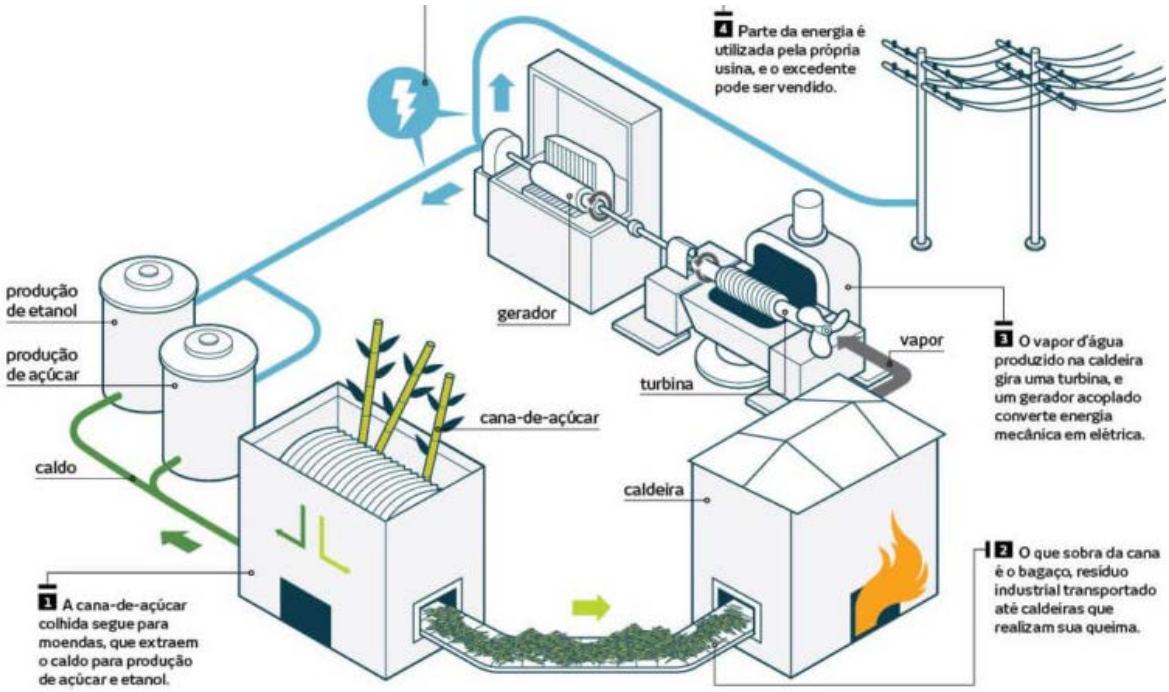
No ciclo de Rankine, a geração de potência ocorre com o uso de um fluido de trabalho, normalmente a água. O ciclo opera da seguinte maneira: a água no estado líquido é direcionada até uma caldeira para que se torne em vapor. Na caldeira, a queima do combustível fornece calor ao fluido, gerando vapor a alta pressão e alta temperatura. O vapor, então, é direcionado a uma turbina, onde ocorre um processo de conversão da energia térmica em energia eletromecânica. (EPE, 2018).

3.2.1.1.3 Pellets (briquetes)

De acordo com a empresa PelletBrasil (2012?) em seu site , pellets ou briquetes são produzidos a fim de aumentar a densidade energética da biomassa, portanto, garantindo maior eficácia do produto na geração de energia elétrica. São indicadas para fabricação dos briquetes as matérias-primas sólidas nas quais, ao serem armazenadas, grande parte do volume utilizado acaba sendo ocupado por ar. São exemplo, principalmente, os resíduos de madeira (serragem e descartes soltos), bagaço e palha de cana-de-açúcar. Ademais, este método não é indicado para biomassas que possuam nível elevado de umidade em sua composição, como resíduos de pecuária intensiva e lodo de estação de tratamento de esgoto. (EPE, 2018).

Como o pellet é um material sólido sua principal forma de ser utilizado para geração de energia é no ciclo de Rankine, como o item anterior, o combustível é queimado para aquecer uma caldeira contendo água, o vapor, por sua vez, é levado à alta pressão e então segue para as hélices de uma turbina que transforma a energia mecânica do giro em energia elétrica através de um gerador acoplado a ela. (EPE, 2018).

Figura 7: Usina por biomassa utilizando o ciclo de Rankine para geração de energia elétrica.



Fonte: ENERGES, 2020.

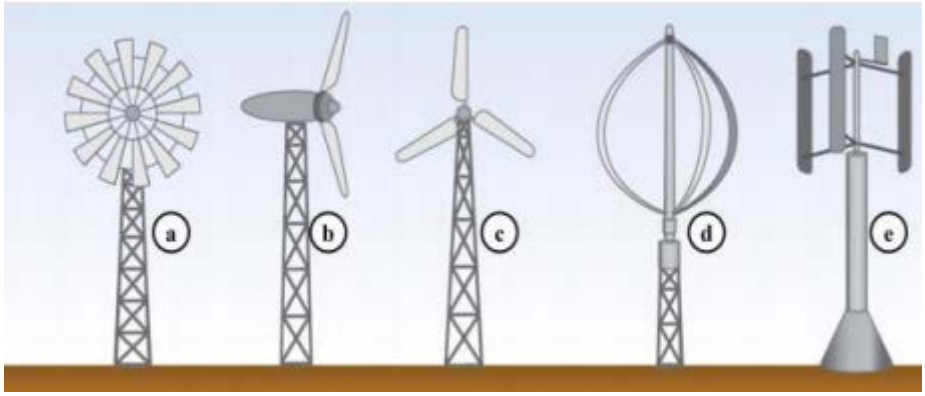
3.2.1.2 Eólica

A energia eólica possui como fonte energética a força dos ventos. Para seu aproveitamento é necessária uma turbina eólica. Nela a energia cinética do vento é convertida em força mecânica que, por sua vez, através de um gerador, é convertida em eletricidade.

Há duas modalidades de geração eólica, a *on-shore* que consiste na produção de energia em solo, como nos parques eólicos no nordeste, e a *off-shore* que é geração com turbinas ao mar. Este tipo de instalação possui uma grande vantagem ao *on-shore* que se dá pela constância de ventos fortes em regiões marítimas, porém, sua desvantagem se dá pelo custo elevado, manutenção regular por conta das forças das ondas e maior distância até as linhas de transmissão (MATIAS, LINDEMBERG, 2021).

As turbinas eólicas são classificadas em dois tipos de acordo com o eixo do rotor: as de eixo horizontal, que são as mais conhecidas e usadas nas usinas eólicas pelo país, e as de eixo vertical (CUSTÓDIO, R. S., 2007). Na Figura 8 são ilustrados alguns tipos de turbinas as quais são de eixo horizontal a (a), (b) e (c) e eixo vertical a (d) e (e).

Figura 8: Tipos de turbinas eólicas.



Fonte: Canal, Elisa, 2018.

As turbinas eólicas horizontais são mais comuns devido à alta eficiência, investimento em pesquisas de desenvolvimento e custo benefício. São majoritariamente

usadas em regiões rurais e que possuem poucos obstáculos como prédios e árvores, uma vez que o vento nestas regiões é menos turbulento (EÓLICA FÁCIL, 2016?). Geralmente, estas turbinas são constituídas de três pás a fim de preservar a estabilidade do sistema, reduzir ao máximo as vibrações originárias do deslocamento de massas de ar e manter o melhor custo benefício entre geração e material (EÓLICA FÁCIL, 2016?).

Já as turbinas eólicas verticais são mais utilizadas em regiões urbanas, pois são fabricadas para terem um melhor desempenho, quando comparadas à turbina de eixo horizontal, com ventos mais turbulentos (EÓLICA FÁCIL, 2016?). Outra vantagem para o uso em zonas populosas é a baixa emissão de ruídos gerados por esse tipo de turbina.

Existem três tipos de turbinas de eixo vertical: representada pela Figura 9, as turbinas Savonius são mais baratas e possuem baixo momento de inércia, necessitando de ventos menos velozes para iniciar a geração de energia elétrica, entretanto, é pouco eficiente ao analisar sua área de contato e produção anual média. As turbinas de Darrieus, representada na Figura 10, são mais eficientes comparadas às do tipo Savonius, já que possuem mais aerodinamismo por conta de seu desenho semelhante às asas de aviões. E também existem as turbinas híbridas de Darrieus-Savonius: os dois aerogeradores anteriores são instalados em um mesmo eixo, dessa forma, adquirindo as vantagens de ambos os modelos, é ilustrada pela Figura 11 (EÓLICA FÁCIL, 2016?).

Figura 9: Exemplo de turbina de Savonius.

Fonte: Eólica Fácil, 2016?.

Figura 10: Exemplo de turbina de Darrieus.

Fonte: Eólica Fácil, 2016?.

Figura 11: Exemplo de turbina Darrieus-Savonius.

Fonte Eólica Fácil, 2016?.

3.2.1.3 Fotovoltaica

A geração fotovoltaica tem como fonte as ondas eletromagnéticas emitidas pelo sol, a conversão de energia ocorre através do efeito fotovoltaico. Este fenômeno acontece dentro de materiais chamados semicondutores, os quais são caracterizados por possuírem a camada de valência de seus átomos totalmente preenchida por elétrons. Nestes materiais a condutividade aumenta conforme a temperatura, devido à excitação térmica de portadores da

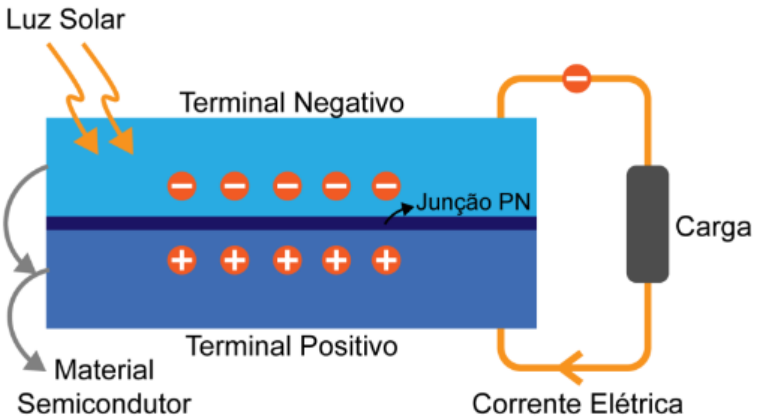
banda de valência para a banda de condução. Em outras palavras, quando, nas células fotovoltaicas, os fótons são absorvidos com energia suficiente pelo material semicondutor, eles excitam os elétrons da banda de valência para a banda de condução (FADIGAS, ELIANE, 2018?).

O material semicondutor mais empregado é o silício, visto que sua configuração atômica é caracterizada pela estrutura cristalina e quatro elétrons na camada de valência. Desta forma ao dopar-se o silício com átomos que possuem cinco elétrons na última camada da eletrosfera, como o fósforo (para esta utilidade), o produto final terá um elétron excedente que não fará parte de nenhuma ligação do composto, sendo caracterizado como um elétron fracamente ligado. Este fenômeno garante a passagem do elétron livre para a banda de condução com muito mais facilidade, sendo necessária pouca energia térmica. Por conta disso o fósforo é um dopante doador e recebe o nome de dopante n (FADIGAS, ELIANE, 2018?).

Por outro lado, o processo de dopagem pode ocorrer com átomos que possuam três elétrons na banda de valência, neste caso irá ser criando uma lacuna ou buraco com a falta de uma partícula para completar as ligações do silício. E, da mesma forma como ocorre com o fósforo, para um elétron preencher o buraco, pouca energia térmica é necessária. O elemento normalmente usado para estes fins é o boro, por conta disso ele é denominado um dopante tipo p (FADIGAS, ELIANE, 2018?).

Com o campo elétrico permanente, a junção pn fica pronta para ser exposta aos fótons, assim que eles incidem com energia suficiente pares de elétron-lacuna apareceram distorcendo o campo elétrico criando áreas com diferença de potencial, resultando em corrente elétrica, o chamado efeito fotovoltaico (MORAES, CAIO, 2020).

Figura 12: Representação de uma célula fotovoltaica.



Fonte: Moraes, Caio, 2020.

A partir das células fotovoltaicas, é possível desenvolver um módulo ao arranjá-las em esquemas de ligação série e paralelo, dessa forma os *outputs* de tensão e corrente são aumentados, assim como o tamanho do conjunto, possibilitando um melhor manuseamento do painel fotovoltaico.

3.2.1.4 Hidrelétricas de pequeno porte

Consolidado pela ANEEL na resolução n°394/1998 artigo segundo, todo empreendimento hidroelétrico com potência superior a 1MW e igual ou inferior a 30MW, cujo reservatório de água tenha área total igual ou inferior a 3km , é considerado uma pequena central hidrelétrica ou PCH. Para ser enquadrado em minigeração, este tipo de usina deve ser da modalidade a fio d'água e não pode ultrapassar os 5MW, conforme estabelecido pela lei 14.300. Esses empreendimentos são instalados em corpos d'água de pequeno e médio porte os quais apresentam desvios e desníveis suficientes a fim de gerar energia potencial para movimentar as turbinas com a força das águas (ALBARELLO, LEONARDO, 2014).

Em seu trabalho, Leonardo Albarello (2014) conceitua as pequenas centrais hidrelétricas a fio d'água como unidades empregadas que possuam a vazão em época de estiagem do rio igual ou superior suficientes para manter a demanda máxima requisitada pelo sistema a ser alimentado. Neste tipo de PCH, o leito do rio é preservado, uma vez que não é

necessária a criação de uma barragem, considerando que a usina estará em funcionamento na maior parte do tempo, como mostrado na Figura 13.

Figura 13: Representação de uma PCH a fio d'água.

Fonte: Sobral, Janina, 2017.

3.3 VEÍCULOS ELÉTRICOS (VE)

Veículos elétricos são automóveis que possuem pelo menos um motor elétrico, normalmente são conectados a rede elétrica residencial ou comercial para que possam ser carregados, dessa forma eles podem trabalhar como fonte de energia emergencial ao estarem conectados a uma HAN, já que possuem um banco de baterias. Caso ocorra uma falha na rede, ele pode vir a injetar a energia armazenada, servindo como um backup (FILIPPE, BRUNO; PEDRO, LUCIANO, 2012).

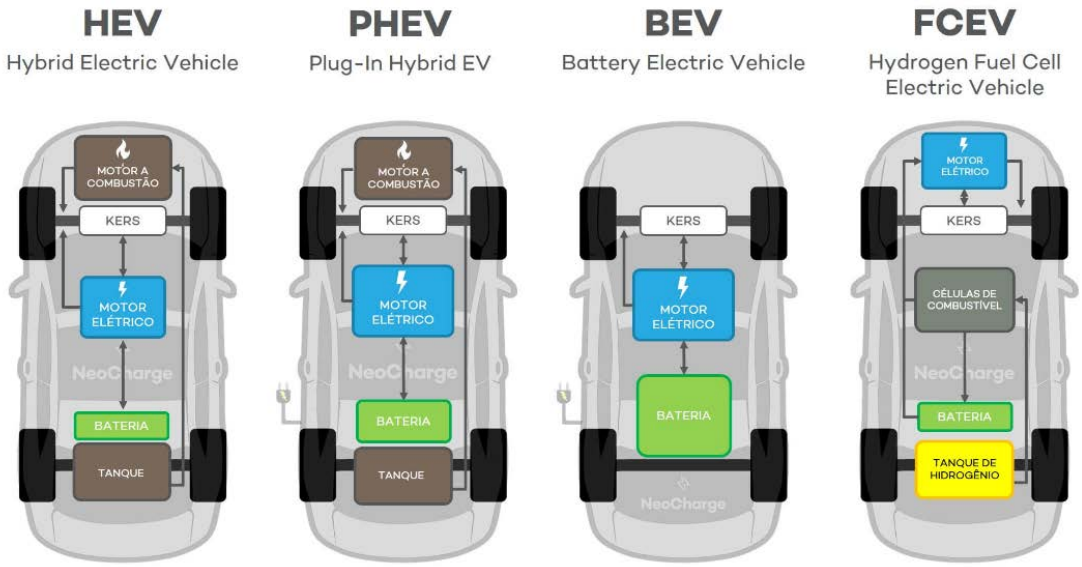
Nesta mesma linha de raciocínio, nos momentos em que a produção de energia estivesse superior à demanda, ou seja, nos períodos do dia em que as tarifas sob a energia estariam mais baratas, os VE's entrariam no modo de carga. Em contrapartida, em intervalos

de alta demanda nos quais as tarifas são mais caras, eles poderiam fornecer a energia acumulada para o sistema, caracterizando uma espécie de compra e venda de energia.

Entretanto, esta atuação deve, necessariamente, ser muito bem planejada e orquestrada de forma perfeita para que o VE não venha a tornar-se uma fonte problemática para o sistema elétrico, um exemplo disso seria o aumento de demanda ocasionado pelos múltiplos carregamentos simultâneos pós-horário de pico.

Os veículos elétricos são categorizados em três principais tipos de acordo com a forma que a energia elétrica chega ao automóvel (THEOTONIO, SÉRGIO, 2018).

Figura 14: Tipos de veículos elétricos



Fonte: NEOCHARGE, 2020?

3.3.1 VE a baterias

Neste tipo de veículo, o motor é alimentado diretamente por um banco de baterias as quais são recarregadas diretamente pela rede (THEOTONIO, SÉRGIO, 2018). Existem três níveis de recarga, a primeira é considerada uma recarga de emergência e não deve ser utilizada a todo o momento por falta de sistemas de proteção. Neste caso são utilizados

carregadores portáteis que são conectados a pontos comuns de tomadas, por consequência este método de carregar é lento, podendo levar até quarenta horas para uma recarga completa.

O segundo nível é caracterizado pelas *wallbox*'s cujo sistema possui as devidas proteções tanto para rede quanto para o veículo. A *wallbox* é ideal para as HAN's e locais onde o veículo ficará estacionado por um período de tempo relativamente longo.

Por fim, o terceiro nível utiliza das estações de carregamento rápido, estas estações atingem altos níveis de transferência de potência, conseguindo recarregar completamente um banco de baterias entre vinte e quarenta minutos. Entretanto, deve-se tomar cuidado, pois o tempo de vida das baterias pode ser prejudicado.

3.3.2 VE híbrido

Para estes veículos o motor elétrico recebe sua energia através de geradores acionados por um motor a combustão interna. Para esta categoria existe também o VE híbrido *plug-in* que pode ser conectado à rede para ter suas baterias recarregadas, possuindo mais autonomia aos híbridos comuns (THEOTONIO, SÉRGIO, 2018).

3.3.3 VE a célula de combustível

Nestes veículos a eletricidade é gerada a partir de reações químicas de elementos, normalmente hidrogênio, presentes em células de combustíveis.

Os átomos de hidrogênio são injetados na célula pelo ânodo, então ele é ionizado, ou seja, seus elétrons são retirados e proveem a corrente elétrica para o veículo. Então o oxigênio reage no cátodo da célula combinando os elétrons livres com o íon hidrogênio, finalizando a reação química resultando em água, que por sua vez segue para fora do veículo. (SMITHSONIAN INSTITUTION, 2017).

3.4 SEP BRASILEIRO X GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Em relação às normas e regulamentações referentes à geração distribuída, bem como as demais formas de geração própria de energia, é evidente a vantagem da redução entre a distância da fonte geradora até os grandes centros consumidores, o que, consequentemente, reduz as perdas por efeito Joule e de outras naturezas na transmissão de energia. Além desta questão, o Ministério de Minas e Energia (2021) ainda aponta alguns benefícios ao crescente aumento das unidades de geração distribuída, são exemplos:

- A postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão;
- O baixo impacto ambiental, uma vez que são consideradas fontes de energia alternativa;
- A melhoria do nível de tensão da rede no período de carga pesada;
- Em casos de armazenamento por bancos de baterias, há o aumento da confiabilidade do atendimento, pois as baterias podem permitir a operação ilhada das cargas em caso de falhas nos sistemas de distribuição;

Entretanto, o sistema elétrico brasileiro não está devidamente projetado para aderir ao crescente número dessas fontes. Um exemplo dessa afirmação é a de que uma vez que em sua grande maioria a energia gerada por elas é em corrente contínua, há a necessidade de uso de inversores de potência para que a geração possa ser convertida em corrente alternada para que seja permitida a conexão à rede de distribuição. Por conseguinte, como nenhuma transformação é perfeita, a comutação de corrente contínua para alternada gera harmônicos das mais diversas ordens, dependendo do tipo da fonte geradora. Estes harmônicos são distribuídos pelo sistema elétrico ocasionando elevação nos níveis de tensão e corrente, portanto, sobrecarregando o sistema, superaquecendo as linhas de distribuição e transmissão e danificando equipamentos.

O Ministério de Minas e Energia (2021) ainda constata outras desvantagens à questão do aumento de consumidores geradores de energia, algumas delas são:

- Necessidade de alteração dos procedimentos das distribuidoras para operar, controlar e proteger suas redes;
- Aumento da complexidade para controlar o nível de tensão da rede no período de carga leve;
- Alteração dos níveis de curto-circuito das redes, gerando a necessidade de revisitar esquemas de proteção;
- Necessidade de acomodar a possível intermitência da geração, inerente a algumas fontes de energia alternativa, tais como radiação solar e vento.

Fica evidente que com o advento da geração distribuída, o fluxo de potência das redes elétricas se tornou bidirecional e com isso, o perfil dos consumidores modificou-se. Neste cenário, as redes inteligentes são projetadas para maximizar a utilização da geração do prossumidor nos horários de pico, alterando sua curva de carga e, consequentemente, diminuindo a injeção de energia para a rede e aplicando os benefícios mencionados pelo MME.

Alternativamente, um HAN quando possui a capacidade de incorporar um veículo elétrico, possibilita o armazenamento da energia gerada pelas fontes instaladas nela no banco de baterias do veículo. Então, esta energia pode ser utilizada pela unidade consumidora nos horários de pico, ao invés da energia provida pela rede que estaria mais cara devido ao período do dia.

Portanto, confiabilidade e segurança estão intimamente atreladas com rede inteligente, a reconfiguração direta e identificação dos pontos críticos do sistema garantirão os aspectos mencionados das redes de distribuição, o que permitirá um melhor, eficiente e seguro desenvolvimento de futuros pontos de conexão na malha do circuito da rede integrada.

Q U A D R O N A C I O N A L

Rede inteligente é um processo que abrange várias áreas da engenharia. Em decorrência disto, sua implantação em âmbito nacional fica a mercê do desenvolvimento das tecnologias para melhoramento da infraestrutura do sistema elétrico e do sistema de telecomunicação. Soma-se a isso a questão do Brasil ser um país de tamanho continental, com uma malha elétrica muito extensa e complexa, com grande número de fontes de geração de energia, pontos de transmissão e distribuição, o que só dificulta o trabalho de transformá-lo em uma única rede inteligente.

Entretanto, nos últimos anos, não faltaram investimentos internos e externos ao país para a criação de projetos de estudos e desenvolvimento tecnológicos sobre o tema. Inúmeras empresas de tecnologia e do setor elétrico, seja na distribuição ou geração, entendem que o caminho a seguir em direção ao futuro é dado pela automação garantida pelas redes inteligentes e estão, incansavelmente, em busca de mais conhecimentos para a aplicação direta do tema na vida cotidiana do brasileiro.

Neste capítulo será mostrado o quadro nacional atual dos projetos de cidades inteligentes que utilizam o conceito de comunicação e transferência de dados entre os elementos do sistema de rede inteligente. Muitos desses projetos "piloto" são financiados por empresas do setor das telecomunicações visando melhorar a qualidade de vida de seus consumidores (ENAP, 2021).

4.1 SMART CITY LAGUNA

Laguna é uma região que está localizada no estado do Ceará, no município de Croatá. O projeto é originário de 2011 e pretende ser a primeira "cidade inteligente social" do mundo, tendo alicerce nos pilares de inclusão social, planejamento urbano, meio ambiente e tecnologia (PLANET SMART CITY, 2017?).

Com a chegada de seus primeiros moradores em 2019, a integração de qualidade de infraestruturas e de tecnologias inteligentes e internet das coisas, garantem uma boa qualidade de vida para os habitantes. A cidade ainda oferece um serviço por aplicativo

gratuito para seus moradores, com o intuito de facilitar ainda mais a acessibilidade e a participação da comunidade na cidade inteligente (PLANET SMART CITY, 2017?).

No quesito rede inteligente, Laguna é uma cidade que está na expectativa do desenvolvimento e atualização do sistema elétrico brasileiro, uma vez que o projeto já iniciou a instalação de medidores de energia inteligentes, ou seja, as moradias e comércios de Laguna já apresentam capacidade para constituir a infraestrutura de HAN's. Além disso, a cidade conta com fornecimento de postes inteligentes para iluminação, sinal gratuito de Wi-Fi e sistemas de segurança (PLANET SMART CITY, 2017?).

A empresa responsável pelo planejamento de Laguna, Planet Smart City, ainda conta com mais duas cidades em estágio de andamento de obra no Brasil, são elas: a Smart City Aquiraz, também no estado do Ceará no município de Aquiraz, e a Smart City Natal, localizada na região de São Gonçalo do Amarante, no estado do Rio Grande do Norte. Esta se encontra nos estágios iniciais de obra, não contando com a integração de soluções inteligentes no momento. O projeto Smart City Aquiraz, por outro lado, teve o término de sua primeira fase de obra: contém pontos inteligentes na cidade, como monitoramento por câmeras de segurança e Wi-fi aberto ao público pela cidade, mas principalmente em pontos de ônibus (PLANET SMART CITY, 2017?).

4.2 SMART CITY BÚZIOS

Em 2011, a concessionária de energia AMPLA em parceria com o governo do estado do Rio de Janeiro, ENDESA, ENEL e OICS, deu início ao projeto Cidade Inteligente Búzios (CIB). O projeto em questão atende dez mil clientes e esteve em estágio de troca dos medidores de energia pelos inteligentes (LEMOS, 2015).

Os dados obtidos pelos medidores nas HAN's são direcionados ao Centro de Monitoramento e Pesquisa que funciona como a NAN da região, onde é feito o monitoramento dos pontos de melhoramento do projeto. É possível acompanhar as características de carga de bicicletas e carros elétricos, controlar e monitorar as lâmpadas dos

postes de iluminação e, como os medidores inteligentes já estão instalados, é possível realizar desligamentos automáticos, receber relatórios de demanda, e etc (LEMOS, 2015).

Os resultados previstos pela transformação de Búzios podem ser classificados em três âmbitos principais, por se tratar de um projeto multidisciplinar, como dito pela OICS em seu site (OICS, 2020?).

O primeiro é relacionado a estudos centrados em veículos elétricos e redução de gases de efeito estufa. Foram alocados trezentos e sessenta carros elétricos na região, e a partir da divulgação pelo MME, das tabelas de etiquetagem veicular de carros considerados de passeio, os resultados adquiridos demonstram a redução dos gases NMHC, CO, NOx, CO_2 (OICS, 2020?).

Para o setor elétrico, os principais benefícios da automação são dados na melhoria da continuidade de energia elétrica, redução de prejuízos econômicos em unidades afetadas por desligamentos e redução do tempo de interrupção de energia (OICS, 2020?).

O terceiro ponto consiste no sistema de telecomunicação da cidade com a integração do conceito de internet das coisas. Esta interação permite não somente os itens citados anteriormente, como o monitoramento de carga dos veículos elétricos e recebimento de relatórios de demanda para cada HAN, mas também abre espaço para novas aplicações (OICS, 2020?). Consequentemente, consumidores e concessionária adquiriram um meio de comunicação direta, o que garante aos clientes da Enel uma significativa melhora na qualidade de energia da rede graças à redução no tempo de atendimento das chamadas. Além disso, está em desenvolvimento uma plataforma que permite ao cliente a possibilidade de aplicação de novas modalidades tarifárias, levando o autogerenciamento de contas de energia aos consumidores, dessa forma eles poderão estudar a demanda local e escolher os momentos mais apropriados para que economizem com energia (OICS, 2020?).

4.3 SMART CITY SETE LAGOAS

No programa Cidades do Futuro, a CEMIG, distribuidora de energia pelo estado de Minas Gerais e seus grupos parceiros, iniciaram em 2012, a instalação de cerca de três mil e oitocentos medidores inteligentes pela cidade Sete Lagoas. Além disso, o projeto engatilhou o desenvolvimento de sistemas de telecomunicações que permitiam a troca em tempo real de dados entre as HAN's com seus medidores e a NAN da cidade com seu centro de comando da CEMIG (MORADORES de Sete Lagoas serão os primeiros a testar o medidor inteligente de energia, 2012).

A concessionária local quer a integração da cidade com rede inteligente para garantir qualidade do produto entregue aos consumidores, para isso realizaram investimentos pesados para aumentar a eficiência da rede na identificação de pontos críticos do sistema e pontos de falhas por toda a malha de distribuição da cidade. Com isso a rede será capaz de rapidamente se adaptar caso ocorra algum acidente, reestabelecendo as quedas de fornecimento de energia com maior rapidez e eficiência, o chamado *self-healing* (CIDADES do Futuro, da Cemig, quer transformar consumidores em fornecedores de energia, 2012).

Neste processo os dados da falha transmitidos pela rede serão analisados na NAN local que conseguirá manobrar o circuito de distribuição com o propósito de isolar o local defeituoso o mais rápido possível e, ao mesmo tempo, garantir que o mínimo de consumidores seja afetado, melhorando a confiabilidade e continuidade do sistema.

Um exemplo do que a CEMIG objetiva com o projeto Smart City Sete Lagoas pode ser encontrado no documento apresentado por Pedro Henrique Martins da Silva e Edison Massao Motoki (2019 ou 2020), estudantes da Universidade Presbiteriana Mackenzie, em São Paulo. No trabalho, os alunos realizam um estudo de metodologia para reconfiguração de redes de distribuição (*self-healing*) a fim de melhorar os indicadores de continuidade da rede.

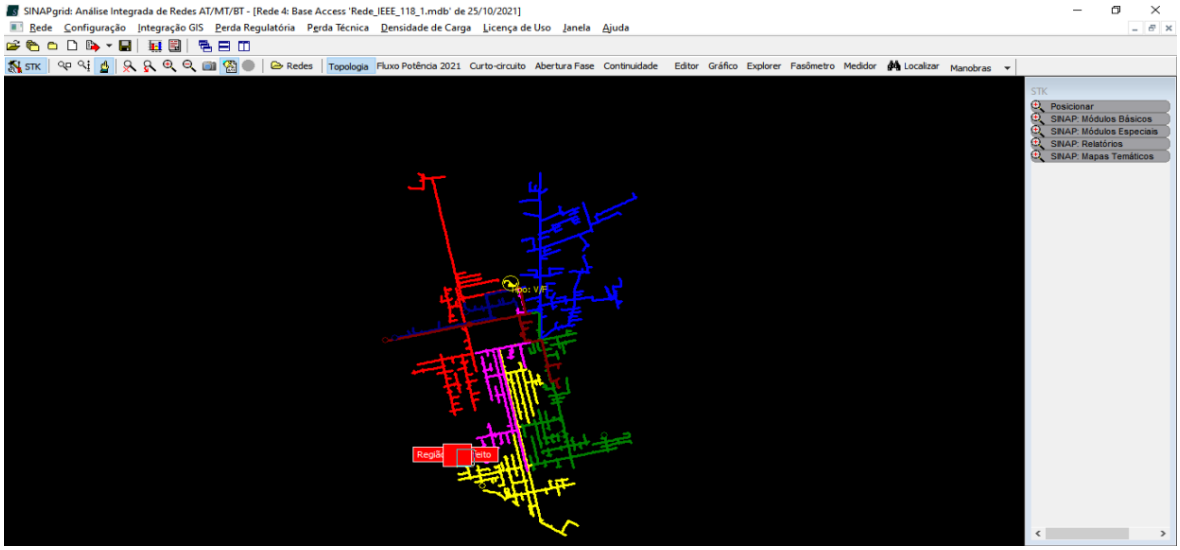
Para atingir este objetivo, eles utilizaram de um software chamado *SinapGrid* o qual permite estudar e simular as propriedades de sistemas elétricos, concebendo relatórios analíticos essenciais para viabilizar a rede. Estes relatórios apresentam dados como fluxo de

potência, perdas técnicas, perdas regulatórias, equipamentos à jusante ou montante entre outros dados.

Apresentados por eles em seu trabalho, para aplicar o método de *sefl-healing*, foram utilizados relatórios de perdas técnicas, de condição dos equipamentos utilizados na linha de distribuição e de fluxo de potência. Dessa forma, foi possível observar como as operações estavam variando nas simulações, durante e após a alimentação dos circuitos.

Em sua primeira simulação, foi escolhida uma topologia de rede com sete circuitos mostrada na Figura 15.

Figura 15: Rede de distribuição utilizada para a simulação



Fonte: Pedro Henrique Martins da Silva e Edison Massao Motoki, 2021 ou 2022.

A partir desta rede, foi demarcada uma região apresentando defeito em um trecho do circuito seis (circuito magenta), representada pelo quadrado vermelho na simulação. Ao ser afetada por uma falta, a região é desenergizada (linhas cinza) e devidamente isolada pela atuação dos equipamentos de proteção, como representado pela cor cinza na Figura 16.

Figura 16: Circuito seis antes da falta e pós falta.

Fonte: Pedro Henrique Martins da Silva e Edison Massao Motoki, 2021 ou 2022.

É então que ocorre a realimentação de uma porção do trecho isolado, por outro circuito, no caso, o circuito um em amarelo.

Figura 17: Realimentação do trecho do circuito seis pelo circuito um.

Fonte: Pedro Henrique Martins da Silva e Edison Massao Motoki, 2021 ou 2022.

Ao fim da manobra de *self-healing,* o trecho originário da falha passa a ser alimentado pelo circuito um em amarelo e não mais pelo circuito seis em magenta. Como apresentado na Figura 18.

Figura 18: Final da simulação da manobra de *self-healing*.

Fonte: Pedro Henrique Martins da Silva e Edison Massao Motoki, 2021 ou 2022.

4.4 Projeto Light para Smart Grid

Em 2014, a concessionária de energia Light, em parceria com a empresa Landis+Gyr, iniciou o processo de compra e troca de mais de um milhão de medidores inteligentes. A proposta era substituir, gradualmente, os medidores já existentes nas unidades consumidoras da cidade do Rio de Janeiro pelos adquiridos com a Landis+Gyr ao longo de cinco anos (LANDIS+GYR, 2014).

As principais áreas que a Light almeja atingir com o projeto são a otimização dos serviços de distribuição por rede subterrânea, a otimização da distribuição da rede aérea e melhorar a gestão pelo lado de demanda da região. Outros pontos também são a criação da plataforma operacional da rede inteligente do sistema e melhorias nos pontos de gestão das fontes renováveis, armazenamento distribuído e veículos elétricos recarregáveis. (CGEE, 2012).

Em 2017, a Landis+Gyr finalizou os testes integrados do projeto da plataforma de rede inteligente que vinha desenvolvendo com a Light. No mesmo ano, foi atingida a metade

da implantação dos novos dispositivos de medição inteligente, com cerca de 700 mil aparelhos instalados, utilizando a solução *gridstream* AMI da fabricante que permite a realização de para medição e automação para desligamentos e religamentos (CANAL ENERGIA, 2017).

Com a finalização dos testes e metade da meta atingida, a Light deu início, ainda em 2017, na instalação de câmaras subterrâneas pela cidade, as quais contém sensores utilizados para alertar avarias e falhas em equipamentos e religadores, com o objetivo de melhorar a qualidade do fornecimento de energia elétrica da cidade. Ademais o projeto iniciou a instalação de medidores inteligentes polifásicos para consumidores atendidos pela tarifa branca, estes medidores incluem funcionalidades para corte e religamento da energia, dessa forma a Light terá maior controle no combate à fraude e no monitoramento de tensão (CANAL ENERGIA, 2017).

4.5 PROJETO PARINTINS

Lançado em 2011 pela Eletrobrás Amazonas por meio do programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e Eficiência Energética, coordenado pela Agência Nacional de Energia Elétrica, o projeto Parintins teve a conquista de substituir por volta de quinze mil medidores analógicos pelos inteligentes no município de Parintins. Em decorrência disto, a cidade conta com automatização de sua rede de distribuição, dessa forma não são mais necessários funcionários da concessionária para realizarem a leitura dos dados para as contas de energia e o próprio sistema consegue realizar manobras de desligamento e religamento de suas chaves (CGEE, 2012). Ademais, a rede foi reestruturada com cabos multiplexados o que adjunto aos medidores, evita os desvios e fugas de energia do sistema, garantindo confiabilidade e qualidade na energia elétrica entregue (D24AM, 2017).

Os consumidores também possuem uma forma de receber as informações de suas respectivas HAN's, garantindo o acompanhamento em tempo real de como esta o consumo e, dessa forma, habilitando um maior controle sobre suas demandas, isso também permite ao consumidor se adequar para utilizar equipamentos de maiores potências em horários com

tarifas diferenciadas. Caso opte por consumir em um horário de baixa demanda, o consumidor terá uma tarifa mais baixa do que a cobrada nos horários de pico (REIS, 2014).

Em uma entrevista ao PROCELINFO, Marcelo Ximenes Bernandes, coordenador adjunto do projeto Parintins e Gerente de Pesquisa e Desenvolvimento da Eletrobras Alagoas, explicou o motivo pelo qual Paratins foi escolhido para ser um dos precursores do desenvolvimento de redes inteligentes no Brasil (REIS, 2014). A escolha de Parintins se deu pelo fato de o município amazonense possuir um sistema de geração de energia isolado, uma vez que é localizado em uma ilha, a geração é feita por meio de térmicas.

> Optamos por Parintins por diversas razões. Primeiro pelo fato de Parintins ser um sistema isolado, que possui uma série de dificuldades, e poderíamos trabalhar o sistema de comunicação de uma forma mais estressante. Qualquer dificuldade encontrada lá poderia ser trabalhada em outra região atendida pela Eletrobras. Por ser uma região mais extrema, as situações vividas em Parintins poderiam ser replicadas para outras regiões onde trabalho com redes inteligentes esteja sendo implementado.

Marcelo ainda acrescentou ao entrevistador, Tiago Reis, que uma das dificuldades enfrentadas no projeto se deu por conta do sistema de localização da ilha. Uma vez que ela é isolada, a comunicação com o Centro de Operações situado em Manaus é feita via satélite, o que acarreta em custos maiores e transmissão limitada de dados. Outra dificuldade enfrentada pela equipe do projeto foi a de integrar o sistema com todos os setores da Eletrobras (REIS, 2014).

4.6 PROJETO SMART GRID AES ELETROPAULO

O projeto *Smart Grid* foi anunciado no final do ano de 2010 pela concessionária de energia AES Eletropaulo antes de ser obtida pela ENEL. Teve como alvo a cidade de Barueri, por razões estratégicas, como a diversidade do perfil de demanda de seus clientes,

por se tratarem de consumidores residenciais, comerciais e industriais, o nível por demanda elevado, alta densidade de carga e constância média do desempenho dos circuitos em operação (TNPETROLEO, 2011).

O investimento da concessionária foi mensurado no valor de R$ 75 milhões, chegando a aproximadamente sessenta e dois mil habitantes da cidade. Além dos serviços de troca de medidores e automação da rede elétrica local, a Eletropaulo havia ainda expandido o projeto com a ideia de uma frota de táxis elétricos o qual teve um investimento inicial de R$ 1 milhão, o que incentivou a circulação destes veículos e a instalação de quinze pontos para recarga inteligentes dos táxis (ARAÚJO JUNIOR, E., 2018).

Foi dito que o sistema previsto no projeto deveria integrar os processos de medição, de operação e os de automação. A expectativa de finalização dessas etapas do projeto se dava no ano de 2017, porém houve atrasos no projeto e no mesmo ano a concessionária ainda estava no processo de instalação dos novos medidores inteligentes (ARAÚJO JUNIOR, E., 2018).

4.8 PROJETO INOVCITY

Lançado em 2012 pela EDP Bandeirante, distribuidora de energia elétrica do grupo EDP no Brasil, e o Instituto EDP, em parceria com a Secretaria de Energia de São Paulo e Prefeitura de Aparecida, o projeto InovCity teve o objetivo de transformar a cidade de Aparecida em um centro de estudos para a integração de rede inteligente e da eficiência energética no Brasil.

O projeto teve base em seis áreas diferentes para integração da automação da rede de distribuição da cidade. Primeiramente os medidores inteligentes foram instalados em cerca de quinze mil e quatrocentas unidades consumidoras, tendo atendido toda a população da cidade (MARCONDES, Jeferson, 2012). Estes medidores são de orgulho aos colaboradores do projeto por ser um medidor 100% brasileiro, desenvolvidos no programa P&D da ANEEL em parceria com a Ecil Energia para cada tipo de ligação: monofásica, bifásica e trifásica.

Figura 19: Medidores inteligentes de Aparecida.

Fonte: ABNEE, 2012.

Os medidores mostrados acima possuem as seguintes características elencadas pela ABNEE:

- Controle online do consumo de energia da unidade consumidora;
- Corte e religamento remoto;
- Alerta de fraude, seja por inversão de quadrante, números de desligamentos ou por medidor sem carga;
- Medição nos quatro quadrantes e medição de energia ativa;
- Entrada para cabo de fibra ótica;
- Comunicação Zigbee Mesh em 2,4GHz
- Aplicação em AMR e AMI;

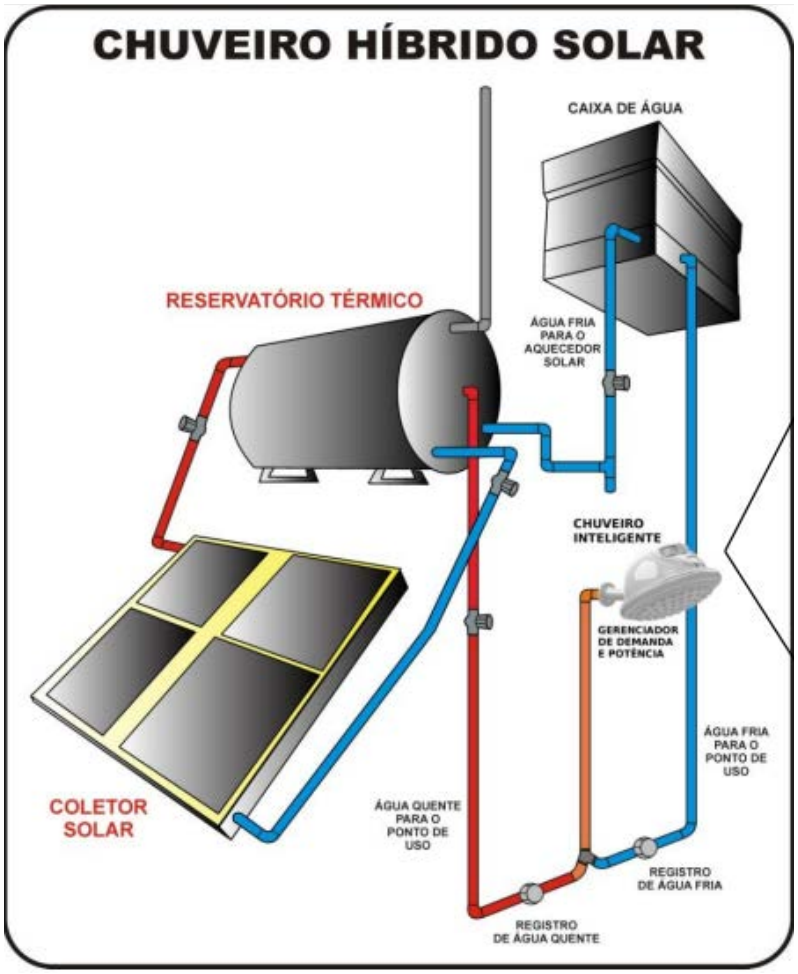
- Display LCD para seis dígitos;

Além desses elementos, os medidores MD-2400 e MD-3400 ainda possuem medição da corrente de neutro, medição da energia ativa e reativa, memória interna para trinta e sete dias, suporte para medição pré-paga, bateria e supercap para RTC e possuem DIC e FIC.

A segunda área atendida pelo projeto é a de eficiência energética. Nesta etapa as empresas colaboradoras realizaram a distribuição de lâmpadas eficientes para toda a população, cerca de cinco lâmpadas por residência. Adjunto a isso, foram doadas, para clientes cadastrados como baixa renda, cerca de quatrocentas e sessenta geladeiras com etiquetagem nível A pelo INMETRO (MARCONDES, Jeferson, 2012).

E por fim, foram distribuídos quinhentos e sessenta kits chuveiros híbridos inteligentes, os quais apresentam aquecimento solar para diminuir os gastos de energia elétrica com aquecimento de água. Este sistema de chuveiro híbrido permite o monitoramento automático da potência para a água do banho, evita desperdício da água fria que fica na tubulação, uma vez que apresenta aquecimento instantâneo. Já na parte inteligente do sistema são listadas o estabelecimento de potência específica em dias e horários configurados para limitar o uso de energia para aquecer a água do reservatório, a configuração de tempo para banho e possui um sistema de comunicação para transmissão de dados para a NAN (MARCONDES, Jeferson, 2012). Na Figura 20 é mostrado um diagrama do sistema de chuveiro híbrido doado aos clientes de baixa renda onde é possível notar que o chuveiro atua como gerenciador de potência, controlando o aquecimento da água do reservatório térmico por energia elétrica quando o aquecimento solar não mantém a água na temperatura configurada pelo consumidor.

Figura 20: Diagrama do sistema chuveiro híbrido.



Fonte: ABNEE, 2012.

A terceira área foi focada na melhoria da iluminação pública de Aparecida. Ainda em 2012 a prefeitura substituiu cento e quatro antigas lâmpadas por luminárias do tipo LED e tinham a previsão de instalar mais cento e duas até o final daquele ano. A consequência desta mudança, além da qualidade da iluminação ter aumentado (pela troca de luz amarela pela luz branca), foi a redução do consumo de energia pelas lâmpadas em 44% (MARCONDES, Jeferson, 2012).

A quarta área teve como objetivo a mobilidade elétrica local, em outras palavras, as empresas entregaram cinco pontos de recarga de veículos elétricos, além de doarem dezessete scooters e duas bicicletas elétricas para a prefeitura de Aparecida (MARCONDES, Jeferson, 2012).

O quinto item do projeto é caracterizado pela geração distribuída na cidade, no projeto com o auxílio da USP foram instalados 24kWp de potência em painéis fotovoltaicos o que termina de compor o esquema de quatro quadrantes dos medidores inteligentes, possibilitando a medição e controle do fluxo de potência da instalação (MARCONDES, Jeferson, 2012).

E por último, o projeto InovCity realizou diversas iniciativas em escolas e palestras pela cidade para conscientizar a população sobre as novas mudanças e sobre como utilizar de forma eficiente a energia elétrica (MARCONDES, Jeferson, 2012).

4.9 PROGRAMA REDE ELÉTRICA INTELIGENTE (REI)

O programa Rede Elétrica Inteligente (REI) iniciado em 2021, está sendo desenvolvido pela concessionária distribuidora de energia elétrica do Paraná, a Copel. A empresa está trazendo para o estado novas tecnologias de automação para o setor, visando automatizá-lo para trazer mais segurança, eficiência e confiabilidade para seus clientes.

Para dar início ao programa, a Copel determinou um plano de ação composto por três fases, cada uma com o intuito de substituir os medidores convencionais de energia de regiões específicas no estado do Paraná, pelos medidores inteligentes. Com isto, estabelecendo a comunicação entre as unidades consumidoras e a rede inteligente, reduzindo o tempo de desligamento da rede elétrica pelas mais diversas possibilidades de falhas e viabilizando o *self-healing* para o sistema. Além disso, a Copel desenvolveu um aplicativo no qual os consumidores conseguem acessar seus dados de consumo através da transmissão de dados do medidor (HAN) com a central de controle da concessionária (NAN), a fim de melhorar o controle individual do uso da energia elétrica (COPEL, 2021?).

A primeira fase do programa tem o objetivo de instalar cerca de quatrocentos e sessenta e dois mil medidores inteligentes em setenta e três cidades distribuídas pelas regiões centro-sul, sudoeste e oeste do estado do Paraná até o final do ano de 2023, possibilitando a um milhão e meio de cidadãos adentrarem à automação da rede elétrica (COPEL, 2021?).

Já a segunda fase foi iniciada no ano de 2023 e tem finalidade de trocar os medidores de energia nas regiões leste e centro-sul, principalmente com a região metropolitana de Curitiba, agregando vinte e oito municípios e quinhentas e onze mil aparelhos (COPEL, 2021?).

Por último, a terceira fase, a qual ainda não teve início, abrange cinquenta municípios das regiões sudoeste e oeste do estado e totalizando, no final do projeto, um milhão e meio de medidores inteligentes em cento e cinquenta e uma cidades do Paraná (COPEL, 2021?).

Na Figura 21 é mostrado a presente situação do programa da Copel, na qual os municípios em verde escuro, verde claro e laranja representam, respectivamente, as localidades que já estão com 75% dos medidores convencionais trocados pelos inteligentes, as cidades que já estão no estágio de finalização da primeira fase, e a região que já possui acesso ao aplicativo.

Figura 21: Representação do estado atual do plano de ação da Copel.

Fonte: COPEL, 2023.

Como se pode observar o que se tem hoje são peças de um gigantesco e complexo quebra-cabeça em diferentes localidades do país, como mostrado na Tabela 1, cada uma com

seu motivo de implementação naquela região e objetivo a cumprir. Não faltam incentivos para o desenvolvimento das redes inteligentes no país, porém são necessários mais alguns anos para que todo o sistema elétrico seja atualizado para acomodar as novas propostas de tecnologia, justamente devido à extensão territorial do Brasil.

Tabela 1 Projetos de implementação de redes inteligentes pelo Brasil.

Projeto	Responsável	Data inicial	UF
Smart City Laguna	Planet Smart City/Enel Ceará	2011	Ceará
Smart City Búzios	AMPLA	2011	Rio de Janeiro
Smart City Sete Lagoas	CEMIG	2012	Minas Gerais
Light Smart Grid	Light	2014	Rio de Janeiro
Smart Grid Paratins	Eletrobras Amazonas	2011	Amazonas
Smart Grid AES Eletropaulo	Eletropaulo	2010	São Paulo
InovCity	EDP Bandeirante	2012	São Paulo
Rede Elétrica Inteligente	Copel	2021	Paraná

Fonte: Autor.

Conforme exposto neste capítulo, a implantação do amplo conceito de redes inteligentes integra diferentes tecnologias com seus benefícios, além de ser um processo implacável, uma vez que necessita da modernização do setor de distribuição, de pressões originárias de fatores externos, como é o caso dos veículos elétricos e da crescente da geração distribuída, e de pressões dos próprios consumidores por uma energia mais limpa, de boa qualidade e confiável.

Existem vários temas que andam lado a lado com o conceito de rede inteligente, e todos possuem, em alguns graus, potencial de desenvolvimento tecnológico nacional, porém, como toda ciência, é necessário aumentar ainda mais os investimentos e a disseminação do conhecimento pelo país. Os desafios desse desenvolvimento necessitam do investimento em mais projetos pilotos a fim de testar novas ideias, possibilitar novos experimentos e pesquisas em diversas áreas da ciência.

Importante relembrar que os estudos e projetos pilotos, como observado, geralmente são focados em alguns aspectos, como qualidade de energia, segurança social e mobilidade urbana, entretanto existem inúmeros outros desafios para que exista de fato uma integração completa. Como o Brasil é um país de dimensões continentais, a troca dos medidores de energia por si só já representa um gigantesco desafio, somado a isso cada região possuindo suas próprias características sejam elas econômicas, geográficas, climáticas e culturais, leva ao surgimento de mais variáveis a equação, que devem ser estudadas e apresentadas soluções de novas tecnologias para atender cada alvo.

CONCLUSÕES GERAIS

O objetivo da pesquisa foi consolidado ao apresentar a existência de inúmeros desafios a serem vencidos para a inserção de rede inteligente no país, tais como: o aprimoramento da rede, questões ambientais, segurança energética, confiabilidade e qualidade do produto, fontes intermitentes de geração, dentre outros. Entretanto, ao analisar o quadro nacional de pesquisa e desenvolvimento, é notável que o Brasil está na direção certa para começar a implantação de redes inteligentes, muitos projetos pilotos financiados pelo governo, empresas privadas e instituições de ensino já passaram pelo primeiro passo, a instalação dos medidores de energia inteligentes.

A integração das redes inteligentes garante maior eficiência e qualidade no consumo de energia elétrica aos consumidores, permitindo um melhor gerenciamento do sistema elétrico, portanto, ajudando a reduzir os custos das concessionarias distribuidoras de eletricidade. O que leva a uma redução de gases de efeito estufa e economia dos reservatórios das usinas hidrelétricas que fazem parte de grande porcentagem da matriz energética. O sistema ainda torna-se mais resiliente, uma vez que acabará por ter maior controle sobre fluxo de potência operando melhor em quadros extremos.

Uma proposta de continuidade do trabalho é a pesquisa na área de desenvolvimento de tecnologias de telecomunicações. Para implementar uma rede inteligente a transmissão da energia e análise de dados são de suma importância, dessa forma, é indispensável um serviço de qualidade para que seja possível o gerenciamento eficiente e eficaz do volume exorbitante de dados nas NAN's e futuramente nas WAN's, além de garantir a comunicação entre os elementos do sistema.

Outra área muito importante para pesquisas futuras é a de segurança de rede, uma vez que os dados de consumo da população estarão concentrados e trafegando pela rede de comunicação e o sistema se encontrará automatizado. Hackers poderão atuar para adquirir para si o controle de equipamentos de segurança, por exemplo, ou invadir os bancos de dados para conseguir alterar informações. Dessa forma, as concessionárias de energia devem garantir a segurança aos seus clientes com auxílio de softwares e tecnologias de computação.

R E F E R Ê N C I A S

Aalamifar, F.; Hassanein, H. S.; Takahara, G. **Viability of Powerline Communication for the Smart Grid.** Communications (QBSC), 2012, 26th Biennial Symposium. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/6221343 Acesso em: 31 maio 2023.

AES Eletropaulo coloca em operação projeto piloto de Smart Grid em São Paulo. **Tnpetroleo.** Rio de Janeiro, nov. 2011. Disponível em: https://tnpetroleo.com.br/noticia/aes-eletropaulo-coloca-em-operacao-projeto-piloto-de-smart-grid-em-sao-paulo/ Acesso em: 31 maio 2023.

ALBARELLO, Leonardo. **Guia para implementação de pequenas centrais hidrelétricas - PCH's**, 2014. Trabalho de conclusão de curso - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Santa Maria, Panambi, 2014. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/1366/Albarello_Leonardo.pdf?sequence=1 Acesso em: 31 maio 2023.

ALONSO, Augusto. **Smart Grids: tecnologias de comunicação e sua realidade no Brasil**. 2014. Monografia (Graduação em engenharia de controle e automação) - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Ouro Preto, 2014. Disponível em: http://www.em.ufop.br/images/MonografiasControleAutomacao/2014/AugustoMatheusDosSantosAlonso.pdf Acesso em: 31 maio 2023.

AMIN, S.; WOLLENGER, B. Toward a Smart Grid. **IEEE Power and Energy Magazine**, Estados Unidos do América, Volume: 3, Issue: 5, pp. 34-41, set./out. 2005.Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/1507024/authors#authors Acesso em: 31 maio 2023.

ANEEL: banco de dados. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/scg/Consulta_Empreendimento.asp Acesso em: 31 maio. 2023

ARAÚJO JUNIOR, E. **Pressupostos jurídicos para a implementação de *Smart Grids* no Brasil**, 2018. Dissertação - Faculdade de Direito, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/26296/1/Pressupostosjurídicosimplementação_AraújoJunior_2018.pdf Acesso em: 31 maio 2023.

Baimel, D. ; Tapuchi, S.; Baimel, N. Smart Grid Communication Technologies, 2016. **Journal of Power and Energy Engineering**, Vol.4 No.8, ago 2016. Disponível em: https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkozje))/journal/paperinformation.aspx?paperid=69361#return2

BRASIL. **Lei 14.300, de 6 de janeiro de 2022.** Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). Disponível em:

https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821

BRASIL. Resolução n° 394, de 4 de dezembro de 1998**.** Estabelece os critérios para o enquadramento de empreendimentos hidrelétricos na condição de pequenas centrais hidrelétricas. **ANEEL**. Disponível em: https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/AGENCIAS/ANEEL/RS0394-041298.PDF

BRASIL. Resolução n° 482, de 17 de abril de 2012**.** Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. **ANEEL**. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf

BRASIL. Resolução n° 786, de 17 de outubro de 2017. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. **ANEEL.** Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2017786.pdf

CANAL, Elisa. **Estudo de viabilidade de sistema de geração distribuída de energia eólica no município de Santa Vitória de Palm.** 2018. Trabalho de conclusão de curso - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/handle/10183/181052 Acesso em: 31 maio 2023.

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Redes elétricas inteligentes: contexto nacional,** 2012. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Redes_Eletricas_Inteligentes_22mar13_9539.pdf/36f87ff1-43ed-4f33-9b53-5c869ace9023?version=1.1

Cidades do Futuro, da Cemig, quer transformar consumidores em fornecedores de energia. **O Sete Lagoas**. Sete Lagoas, Minas Gerais, 13 nov. 2012. Disponível em: https://setelagoas.com.br/noticias/cidade/18302-cidades-do-futuro-da-cemig-quer-transformar-consumidores-em-fornecedores-de-energia Acesso em: 31 maio 2023.

Comunicação para smart grids: Oportunidades e desafios. Produção: Prof(a) Yona Lopes e Instituto de Computação da UFF. Youtube: Instituto de Computação da UFF, 2021. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=sYiE-UBi_i8&ab_channel=InstitutodeComputa%C3%A7%C3%A3o-UFF

COPEL (Paraná) (org.). **Rede elétrica inteligente**, 2021?. Disponível em: https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/rede-eletrica-inteligente/. Acesso em: 31 maio 2023.

CUSTÓDIO, R. S. **Energia eólica para produção de energia elétrica**. 2. ed. Synergia Editora, 2013.

DA SILVA, P.; MOTOKI, Edison. **Aplicação de Self-Healing em redes smart grid para melhoria de índices de continuidade.** [2021 ou 2022]. Monografia - Universidade Presbiteriana Mackenzie. Disponível em: https://dspace.mackenzie.br/bitstream/handle/10899/29114/Pedro%20Henrique%20Martins%20da%20Silva%20-%20protegido.pdf?sequence=1 Acesso em: 31 maio. 2023.

DE CASTRO, N.; CÂMARA, L.; MOSZKOWICZ, M. **Reflexões sobre impactos da Geração Distribuída no Mercado de Energia Elétrica do Brasil**, Rio de Janeiro. GESEL UFRJ, 2021. Disponível em: https://gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/14_tdse_105_vf.pdf Acesso em: 31

maio 2023.

EDP. **InovCity: Lançamento de Projetos de Inovação Social e Mobilidade Elétrica,** 2012. Disponível em: https://brasil.edp.com/pt-br/noticias/2012/03/21/inovcity-lancamento-de-projetos-de-inovacao-social-e-mobilidade-eletrica-1

Eletrobras lança 'Projeto Parintins' para suprir demanda. **D24am**. Amazônia, jun. de 2011. Disponível em: https://d24am.com/amazonia/eletrobras-lanca-projeto-parintinspara-suprir-demanda/ Acesso em: 31 maio 2023.

ENAP. **Cidades inteligentes**, 2021. Disponível em: https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/7001/1/2021.05.14%20-%20Cidades%20inteligentes%20-%20conceitos%20e%20aplicações%20-%20rev.%2005-22.pdf

EPE. **Matriz Energética e Elétrica.** [2021] Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica

EPE; MME. **Balanço Energéito Nacional, 2022**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf Acesso em: 31 maio 2023.

EPE; MME. **Papel da Biomassa na Expansão da Geração de Energia Elétrica**, 2018. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/Biomassa%20e%20Expans%C3%A3o%20de%20Energia.pdf. Acesso em: 31 maio, 2023.

FADIGAS, ELIANE. **Energia Solar Fotovoltaica : Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica**. São Paulo: GEPEA [2010?]. *E-book*. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod_resource/content/2/Apostila_solar.pdf

FILIPPE, Bruno; PEDRO, Luciano. **Smart grid os primeiros passos para a implementação do conceito no Brasil**. 2012. Trabalho de conclusão de curso - Faculdade de Engenharia, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2012. Disponível em: https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/11239/1/105275_Bruno.pdf Acesso em: 31 maio 2023.

Fuel Cell Basics. **Blog Smithsonian Institution.** Estados Unidos da América, 2017. Disponível em: https://americanhistory.si.edu/fuelcells/basics.htm Acesso em: 31 maio 2023.

HORWITZ, Jeremy. The Definitive guide to 5G low mid and high band speed. **Venture Beat**, Estados Unidos, dez. 2019. Disponível em: https://venturebeat.com/mobile/the-definitive-guide-to-5g-low-mid-and-high-band-speeds/ Acesso em: 31 maio 2023.

Iberdrola. **Medidores inteligentes**, [2020?]. Disponível em: https://www.iberdrola.com/inovacao/medidor-inteligente

Instituto Nacional de Propriedade Industrial, THEOTONIO, SÉRGIO. **Veículos elétricos e híbridos panorama patentário no Brasil**. 2018. Disponível em: https://www.gov.br/inpi/pt-br/assuntos/informacao/VeculosEletricoseHbridos_FINAL_Jan2019.pdf Acesso em: 31 maio 2023.

Landis+Gyr. **Light and Landis+Gyr unveil largest smart grid partnership in South America,** [2014]. Disponível em: https://www.landisgyr.com.br/news/light-landisgyr-unveil-largest-smart-grid-partnership-south-america-17/

LASSETER, R. Microgrids and Distributed Generation. **Journal of Energy Engineering, American Society of Civil Engineers,** Wisconsin, sept. 2007. Disponível em: https://documents.pserc.wisc.edu/documents/publications/papers/2007_general_publications/lasseter_asceg2-colum_2007.pdf Acesso em: 31 maio 2023.

LEMOS, André. Cidade inteligente Búzios. **Blog Lab404**. Bahia, 20 jun. 2015. Disponível em: http://www.lab404.ufba.br/buzios-cidade-inteligente/. Acesso em: 31 maio 2023.

Light alcança metade dos dispositivos em seu projeto de Smart Grid. **Canal Energia**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: https://www.canalenergia.com.br/noticias/53040436/light-alcanca-metade-dos-dispositivos-em-seu-projeto-de-smart-grid Acesso em: 31 maio 2023.

MARCONDES, Jeferson. **InovCity Aparecida Implementando um projeto de redes inteligentes na EDP Brasil**. ABINEE, 2012. Disponível em: http://www.tec.abinee.org.br/2012/arquivos/s2g.pdf

MATIAS, Lindemberg. **Evolução da matriz elétrica brasileira e os impactos em decorrência da integração das fontes eólicas e solar em larga escala**. 2021. Trabalho de conclusão de curso - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/65852 Acesso em: 31 maio 2023.

Ministério de Minas e Energia, Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes. **Relatório smart grid**, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/energia-eletrica/relatorio-smart-grid-1/documentos/relatorio-smart-grid.pdf/view Acesso em: 31 maio. 2023.

Moradores de Sete Lagoas serão os primeiros a testar o medidor inteligente de energia. **Estado de Minas**, Minas Gerais. 2012. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2012/04/11/interna_gerais,288251/moradores-de-sete-lagoas-serao-os-primeiros-a-testar-o-medidor-inteligente-de-energia.shtml Acesso em: 31 maio 2023.

Moraes, Caio. Célula fotovoltaica: tudo que você precisa saber. **Blog Eletrônica de Potência.** Santa Catarina, 5 de maio 2020. Disponível em: https://eletronicadepotencia.com/celula-fotovoltaica/ Acesso em: 31 maio 2023.

OICS. **Projeto Cidade Inteligente Búzios**, [2020?]. Disponível em: https://oics.cgee.org.br/estudos-de-caso/projeto-cidade-inteligente-buzios_5d5aeb289de37849a2a14ee9/resultados-esperados

OICS. **Redes elétricas inteligentes (Smart Grids)**, [2020?]. Disponível em: https://oics.cgee.org.br/solucoes/smart-grid_5d5aea749de37849a2a14d2d

O que é uma turbina eólica residencial, comercial e agricola? **Blog Eólica Fácil**. Paraná, [2009 ou 2010] Disponível em: https://www.eolicafacil.com.br/energia-eolica-residencial. Acesso em: 31 maio 2023:

Pellet Brasil. **O que é Pellet?**, [2012?]. Disponível em: https://pelletbrasil.com.br/o-que-e-pellet/

Planet Smart City. **S*mart City* Laguna**, [2019 ou 2020.] Disponível em: https://planetsmartcity.com.br/projetos/

SOBRAL, Janina. **Geração de energia hidráulica**, 2017. Apresentação do Power Point, Universidade federal da Paraíba, centro de ciências e tecnologia programa de pós-graduação em engenharia civil e ambiental. Disponível em: https://slideplayer.com.br/slide/11810608/ Acesso em: 31 maio 2023.

TISOTT, Carolina. **Uma revisão sistemática da literatura a respeito do uso da tecnologia de comunicação 5G na infraestrutura de comunicação das aplicações de resposta à demanda e infraestrutura de medição avançada em smart grids**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso - Faculdade de Engenharia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Itajaí, 2021. Disponível em: https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/2618/TCC%20-%20Vers%c3%a3o%20final%20-%20Carolina%20Giusti%20Tisott.pdf?sequence=1&isAllowed=y Acesso em: 31 maio 2023.

União Europeia.**Smart grids and meters**, [2022]. Disponível em: https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/smart-grids-and-meters_en