



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ENGENHARIA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

BRUNO RIBEIRO MACIEL BARROS

**DIMENSIONAMENTO DE UMA MICRORREDE FOTOVOLTAICA PARA
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA ZONA RURAL DO NORDESTE
BRASILEIRO.**

Fortaleza/ CE

2021

BRUNO RIBEIRO MACIEL BARROS

DIMENSIONAMENTO DE UMA MICRORREDE FOTOVOLTAICA PARA
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA ZONA RURAL DO NORDESTE
BRASILEIRO.

Monografia apresentada ao curso de
Graduação em Engenharia de Energias
Renováveis da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Energias Renováveis.
Orientador: Prof.^a Dra. Ana Fabíola
Leite Almeida

FORTALEZA - 2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B274d Barros, Bruno Ribeiro Maciel.

Dimensionamento de uma microrrede fotovoltaica para geração de energia elétrica na zona rural do nordeste brasileiro / Bruno Ribeiro Maciel Barros. – 2021.
37 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2021.

Orientação: Profa. Dra. Ana Fabíola Leite Almeida.

Coorientação: Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire.

1. Microrredes . 2. Energia solar . 3. Fotovoltaica. 4. Microgrids . 5. Solar energy Photovoltaic . I.
Título.

CDD 628

BRUNO RIBEIRO MACIEL BARROS

DIMENSIONAMENTO DE UMA MICRORREDE FOTOVOLTAICA PARA
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA ZONA RURAL DO NORDESTE
BRASILEIRO.

Monografia apresentada ao curso de
Graduação em Engenharia de Energias
Renováveis da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Energias Renováveis.
Orientador: Prof.^a Dra. Ana Fabíola
Leite Almeida.

Aprovada em: __/__/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Ana Fabíola Leite Almeida (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Mônica Castelo Guimarães Albuquerque
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais João Batista e Maria Josiêlda que me apoiaram em todo o meu percurso, da graduação. Agradeço o amor e incentivo durante todos esses anos.

As minhas irmãs Bárbara Kelly e Karla Beatriz pelo carinho e por me encorajarem a concluir o curso.

À minha namorada Paloma que me fez companhia e me apoiou com amor e carinho durante todo o percurso desse trabalho.

À Prof.^a Dra. Ana Fabíola Leite Almeida, por ter sido uma excelente orientadora e ter desempenhado tal função com dedicação e paciência.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof.^a Dr. Mônica Castelo Guimarães Albuquerque e Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire pelo tempo e pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos meus pais João Batista e Maria Josiêlda.

RESUMO

O objetivo principal do trabalho é mostrar a viabilidade técnica para a aplicação de uma microrrede fotovoltaicas, implementadas na região nordeste. Foram levados em conta alguns aspectos de implementação das microrredes, vantagens e desvantagens, bem como o estudo da problemática energética brasileira. Será abordado também as condições climáticas e estudos solarimétricos da região avaliada. Foi apresentado, uma simulação de um projeto, no qual tem como finalidade, a instalação de microrredes fotovoltaicas para o abastecimento elétrico de uma comunidade carente no sertão cearense.

Palavras-Chave: Microrredes, Energia solar, fotovoltaica

ABSTRACT

The main objective of the work is to address the possibility of applying a photovoltaic microgrid, implemented in the northeast region. Some aspects of the implementation of microgrids, advantages and disadvantages, as well as the study of the Brazilian energy problem were taken into account. It will also be addressed as climatic conditions and solarimetric studies of the evaluated region. A simulation of a project was presented, which has as a model, the installation of photovoltaic micro-grids for the electrical supply of a needy community in the Ceará backlands.

Keywords: Microgrids, solar energy, photovoltaic

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Gráfico horizonte e caminho solar.....	17
Figura 02 - Mapa PVOUT.....	18
Figura 03: - Sistema de microrrede	18
Figura 04 - Pannel solar monocristalino	19
Figura 05 - Pannel solar policristalino	20
Figura 06 - Pannel solar de filme fino.....	20
Figura 07 - Sistema solar fotovoltaico ligado à rede.....	21
Figura 08 - Inversor fotovoltaico.....	23
Figura 09 - Controlador de cargas.....	23
Figura 10 - Banco de baterias de um sistema fotovoltaico.....	24
Figura 11 - Estrutura de fixação de painéis fotovoltaicos.....	24
Figura 12 - Fontes de energia que geram eletricidade.....	26
Figura 13 - Principais componentes da microrrede.....	27
Figura 14 - Sistema Isolado (Off-Grid).....	28
Figura 15 - Sistemas conectados à rede - <i>On Grid ou Grid Tie</i>	28
Figura 16 - Modelos e disposições de barramentos.....	29
Figura 17 - Panorama nacional das microrredes de 2012 a 2015.....	31
Figura 18 - Expansão da matriz energética brasileira.....	32
Figura 19 - Potencial Fotovoltaico no Brasil - (kWh/m ²).....	34
Figura 20 - O sistema Ingecon Hybrid MS indicando suas entradas e saídas.....	36
Figura 21 - Inversor utilizado no projeto.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descritivo de micro redes isoladas instaladas pelo mundo.....	32
Tabela 2: Características elétricas do módulo fotovoltaico.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GD – Geração Distribuída

DMSE - Departamento de Monitoramento do Sistema Elétrico

MME - Ministério de Minas e Energia

PNE - Plano Nacional de Energia

PVOUT - Potência fotovoltaica específica

DNI - Irradiação normal direta

GHI - Irradiação horizontal global

DIF - Irradiação horizontal difusa

GTI - Irradiação inclinada global em ângulo ideal

OPTA - Inclinação ideal de módulos fotovoltaicos

TEMP - Temperatura do ar

ELE - Elevação do terreno

SFCR - Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica

LISTA DE SÍMBOLOS

% - Porcentagem

W - Watt

Wp - Watts pico

Wh - Watts hora

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 <i>Motivação.....</i>	15
1.2 <i>Objetivos Gerais.....</i>	15
1.3 <i>Objetivos específicos.....</i>	15
2. METODOLOGIA.....	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
3.1 <i>Panorama nacional</i>	16
3.1.1 <i>Dados regionais.....</i>	16
3.1.1.1 <i>Energia solar.....</i>	18
3.1.1.2 <i>Geração de energia solar fotovoltaica.....</i>	19
3.1.2 <i>Módulos Fotovoltaicos.....</i>	19
3.1.3.1 <i>Sistema fotovoltaico conectado à rede (on-grid)</i>	20
3.1.3.3 <i>Sistema fotovoltaico isolado (off-grid)</i>	21
3.1.3.4 <i>Componentes do sistema fotovoltaico</i>	22
3.1.3.5 <i>Classificação de consumidores e modalidades tarifárias.....</i>	24
3.3. <i>A problemática energética.....</i>	25
3.3.1 <i>Definição e classificação de microrredes.....</i>	26
3.3.1.1 <i>Estado da arte das microrredes de energia elétrica.....</i>	30
3.3.3 <i>Aplicações das microrredes no contexto nordestino.....</i>	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
5. CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS.....	38

1 - INTRODUÇÃO

Na história da sociedade, a energia elétrica, desde a sua descoberta, sempre ocupou lugar de destaque, tendo em vista a dependência da qualidade de vida, do progresso econômico, e dos serviços relacionados à energia elétrica, que por sua vez dependem de como as empresas de eletricidade projetam, operam e mantêm os sistemas elétricos (BARBOSA et al, 2013). Pode ser uma conclusão um tanto relativa, mas é fato que as descobertas e invenções proporcionadas pela energia elétrica são responsáveis pela forma que o mundo é hoje e, principalmente, pela forma como a humanidade pensa e interage no universo.

A energia elétrica foi responsável por diversos avanços no mundo, mas o que seu desenvolvimento pôde proporcionar sem a menor dúvida, foi a evolução da tecnologia. A energia elétrica é uma das mais nobres formas de energia secundária. A sua facilidade de geração, transporte, distribuição e utilização, com as consequentes transformações em outras formas de energia, atribuem à eletricidade uma característica de universalização, disseminando o seu uso pela humanidade (BARBOSA et al, 2013).

O aumento populacional e tecnológico provoca um crescimento na demanda energética e o consumo ainda maior das fontes não renováveis, as quais são mais utilizadas e geram danos mais graves ao meio ambiente. Isso incentiva a busca por investimentos em energias alternativas mais limpas e mais eficientes como as energias: solar, eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas, de modo que supram as necessidades da sociedade, sem agredir tanto o meio ambiente.

No nordeste brasileiro, a oferta de luz solar é imensa chegando a ter quase todos os dias do ano sol intenso, e isso pode proporcionar um aproveitamento dessa fonte de energia buscando oferecer abastecimento energético contínuo para essa região tão rica desse recurso, porém assolada por diversos problemas como falta de recursos financeiros, principalmente na zona rural. Nesse contexto, as tecnologias que têm como base energias renováveis de forma descentralizada e em pequena escala ganham espaço, não só por suas vantagens ambientais, mas também econômicas e sociais.

Com a expansão do uso de energias renováveis aumenta também as pesquisas que envolvem a busca de uma configuração mais eficiente para melhorar a distribuição desta energia e localizá-las de uma maneira otimizada. O termo “micro rede” está sendo muito utilizado no planejamento e na análise da operação de sistemas elétricos modernos, no qual a presença de geração distribuída, a partir da utilização de fontes renováveis de energia ou mesmo de fontes convencionais de porte menor do que as grandes centrais elétricas, torna-se uma realidade.

A micro rede se insere no contexto como uma alternativa, para o uso em energias renováveis, já que se trata de uma rede de pequeno porte que contém vários consumidores e unidades geradoras distribuídas (GD), utilizando-se de diferentes fontes de energia, podendo ser considerada como um sistema independente.

Atualmente, percebe-se a introdução de mudanças de natureza tecnológica, estrutural e regulatória, que têm o potencial para uma nova alteração do paradigma. (DJALMA M. FALCÃO). Essas mudanças acontecem tanto ao nível do grande sistema (grandes unidades de geração e transmissão) quanto nos pequenos sistemas (sistema de distribuição, geração distribuída, microgeração e uso final). Em particular, as mudanças incorporam um conceito tanto novo quanto revolucionário: o poder de o consumidor decidir sobre seu consumo, e até contribuir para o atendimento dos demais consumidores pela venda de energia ao sistema. As mudanças são movidas pela incorporação maciça de tecnologia da computação e comunicação ao controle e supervisão dos sistemas de energia elétrica, pela introdução de novos dispositivos para geração e microgeração, pela

conscientização da vulnerabilidade dos sistemas atuais a situações catastróficas (blecautes), inaceitáveis por uma sociedade altamente dependente da continuidade e qualidade do suprimento de energia elétrica, e pela consciência sócio-ambiental, cada vez mais presente nas decisões da sociedade moderna.

Esse trabalho visa mostrar um dimensionamento de um projeto de microrrede a partir de energia solar fotovoltaica, para aplicação na região Nordeste.

1.1 MOTIVAÇÃO

Viver em uma casa com 100% de energia limpa e renovável, em breve, não será apenas um sonho de ambientalistas preocupados com o futuro do planeta. A transição entre um modelo de fornecimento de energia elétrica tradicional, baseada em grandes usinas geradoras, passa por uma transformação e o uso de microrredes já é uma realidade em algumas partes do mundo. E o melhor: além de ecologicamente correta, a solução pode ser mais barata e pode garantir aos usuários energia mesmo diante de crises de desabastecimento. Com investimento baixo, já é possível produzir praticamente toda energia que uma residência precisa com módulos solares.

A autoprodução de energia pode, além de gerar economia direta na conta de luz, faz com que, o cidadão passe de consumidor para se tornar fornecedor de energia, podendo vir a lucrar financeiramente

1.2 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um modelo de microrrede fotovoltaica baseada nas condições climáticas, econômicas e sociais do nordeste brasileiro para suprir as necessidades de um público que ainda não desfruta do uso de energia elétrica oferecida pelas redes convencionais.

1.3 Objetivos Específicos

- Fazer um estudo climatológico da região.
- Proposta de um projeto para geração de eletricidade, a partir da energia solar.
- Mostrar a viabilidade técnica, por meio de cálculos, para a implementação do projeto.

2 - METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado de maneira exploratória fundamentada nos seguintes passos:

- Levantamento bibliográfico acerca do estado da arte e o desenvolvimento das microrredes
- Abordar a aplicabilidade e funcionamento dos componentes de um sistema solar.
- Levantamento de dados meteorológicos reais do município de Barbalha, com o objetivo de identificar de possíveis pontos para a instalação do projeto visando uma melhor eficiência do sistema.
- Avaliação das vantagens e desvantagens do sistema de microrredes

- Dimensionamento do sistema de microrrede

3 - REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Panorama brasileiro

A utilização de recursos naturais não renováveis e altamente poluidores para geração de energia elétrica causam sérias consequências para o homem e para o ambiente, e por isso devem ser evitadas. O Brasil possui uma extensa área territorial e altos níveis de irradiação solar, o que o torna, um país com alto potencial para geração de energia limpa e eficiente a partir da luz solar. (DOUGLAS MIOTO CERZOLI, 2018).

Atualmente o uso da energia provinda da água, ou seja, hidrelétrica, ainda é muito latente no Brasil. Dados do Departamento de Monitoramento do Sistema Elétrico (DMSE), órgão vinculado ao Ministério de Minas e Energia (MME), referente ao mês de janeiro/2018, indicam que 81,8% de toda a energia elétrica produzida no Brasil é proveniente de fontes renováveis, dentre as quais podemos citar a hidrelétrica, eólica e a solar.

O Brasil possui um Plano Nacional de Energia (PNE 2030) no qual está definido para 2030 uma meta de economia de 10% no consumo final de energia elétrica, a ser alcançada mediante o incremento da eficiência dos sistemas energéticos e equipamentos.

PEREIRA et al. (2017) destaca que o Brasil possui enorme potencial para a geração de energia a partir da captação solar principalmente devido sua grande extensão territorial e alta incidência média de irradiação, e afirma ainda que países europeus como a Alemanha onde se tem pouca incidência solar, produzem mais energia solar que o Brasil.

3.1.1 Dados Regionais

Na região Nordeste do Brasil é abundante a quantidade de energia solar e sua conversão em energia elétrica deve ser estimulada, o que certamente contribuirá para poupar a água armazenada nos reservatórios das usinas hidroelétricas, permitindo o seu uso para fins mais nobres, já que a região sofre bastante com problemas de escassez de água (NETO OTACÍLIO). Por estes motivos, o mapeamento da radiação solar incidente no estado do Ceará e na sua extensão para a região Nordeste como um todo, é de extrema importância para o planejamento energético brasileiro.

O estudo de caso que foi abordado neste trabalho, avaliou o distrito de Seriema do município de Barbalha que fica localizado no interior do Ceará, abaixo temos algumas informações sobre a localidade.

3.1.1.1 Coordenadas Geográficas

Barbalha-CE

-07 ° 20'41 " , -39 ° 18'40"

Barbalha, Ceará, Brasil

Fuso horário: UTC-03, América / Fortaleza

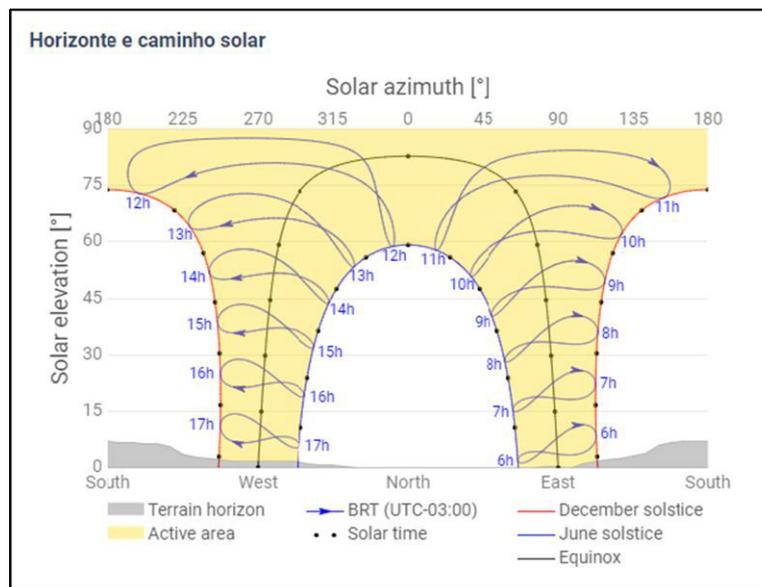
Irradiação Solar

- Potência fotovoltaica específica
PVOU_T específico **1732 kWh/kWp**

- Irradiação normal direta
DNI **1948 kWh/m²**
- Irradiação horizontal global
GHI **2158 kWh/m²**
- Irradiação horizontal difusa
DIF **770 kWh/m²**
- Irradiação inclinada global em ângulo ideal
GTI opta **2190 kWh/m²**
- Inclinação ideal de módulos fotovoltaicos
OPTA **10 / 0 °**
- Temperatura do ar
TEMP **23,8 °C**
- Elevação do terreno
ELE **742 m**

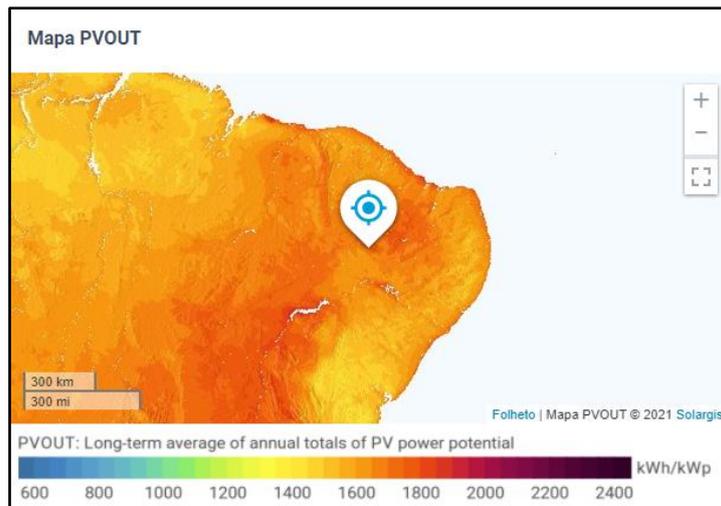
Fonte: Global solar atlas, 2021

Figura 1: Gráfico horizonte e caminho solar



Fonte: Global Solar Atlas, 2021

Figura 2: Mapa PVOUT



Fonte: Global Solar Atlas, 2021

3.1.1.1 Energia Solar

A energia solar fotovoltaica opera à base de painéis solares que absorvem as radiações luminosas do Sol e as convertem em corrente elétrica. Estes painéis especiais são compostos por células fotovoltaicas onde a energia luminosa ou os fótons são transformados em eletricidade. O efeito fotoelétrico é o princípio deste sistema energético (ARCHER; GREEN, 2014).

Para locais distantes da rede de distribuição elétrica, pode-se aplicar os sistemas fotovoltaicos isolados da rede, que se configuram como sistemas independentes que podem armazenar energia com o uso de bancos de baterias. Além desse uso, existe outra forma de utilização como o sistema distribuído, que consiste no sistema fotovoltaico estar conectado à rede elétrica de distribuição e ter a capacidade de fornecer à rede a energia excedente, gerando créditos para o consumidor nesse caso de fornecimento de energia.

Figura3: Sistema de microrrede



Fonte: Neoenegia 2020

3.1.1.2 Geração de Energia Solar Fotovoltaica

Embora existam outras formas de produzir energia elétrica a partir da fonte solar, tem-se destacado a utilização da tecnologia fotovoltaica, particularmente por sua praticidade. Por meio de células fotovoltaicas, a luz solar é convertida diretamente em eletricidade. Essas células fotovoltaicas são reunidas em módulos de diversas capacidades, consistindo estes nos produtos disponibilizados no mercado. Os módulos podem ser utilizados individualmente ou conectados para formar empreendimentos de geração de qualquer porte, tanto em sistemas autônomos (off-grid) como em sistemas ligados à rede elétrica (on-grid), conhecidos no Brasil como sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFCR). Os SFCR podem ser classificados como geração centralizada ou geração distribuída. (HENRIQUE NEVES, 2015)

- **Microgeração distribuída:** central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;
- **Minigeração distribuída:** central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW, para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

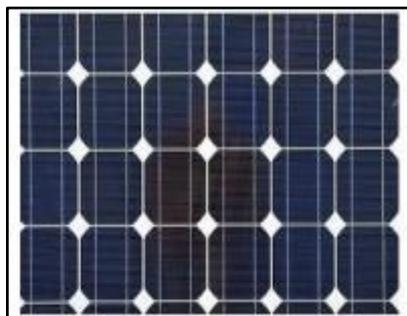
3.1.2 Módulo Fotovoltaico

Um sistema fotovoltaico on-grid é constituído, dentre outros, pelos seguintes componentes principais: módulo fotovoltaico, inversor e medidor. As principais características dos módulos e inversores são:

Silício monocristalino:

- Estrutura cristalina ordenada, com comportamento uniforme e previsível;
- Eficiência em torno de 17%.

Figura 4: Painel solar monocristalino



Fonte: Imagem do google

Silício policristalino:

- Formado por regiões de silício amorfo;

- Eficiência em torno de 15%.

Figura 5: Painel solar policristalino



Fonte: Imagem do google

Filme fino (thin film):

- Não existe ordem na disposição estrutural dos átomos. A espessura para formar uma célula solar é muito pequena, originando células de fina camada;
- Eficiência em torno de 10%;
- Rendimento estável e bom comportamento a altas temperaturas;
- Melhor aproveitamento do espectro solar (bom comportamento com radiação difusa).

Figura 6: Painel solar de filme fino



Fonte: Imagem do google

3.1.3.1 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

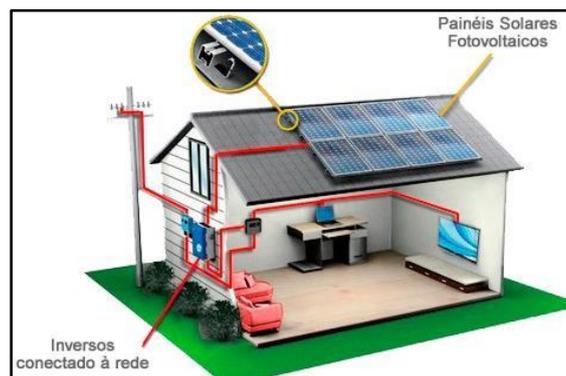
Nos sistemas conectados à rede elétrica, a energia provinda dos módulos solares, representa uma fonte de energia complementar à energia da distribuidora. Nesse caso o usuário está conectado diretamente na rede. Esses sistemas que geralmente não utilizam armazenamento de energia, pois toda energia gerada pelos módulos solares fotovoltaicos, é entregue à rede elétrica instantaneamente.

A energia solar fotovoltaica gerada não é destinada a uma carga específica, abastecendo toda a residência juntamente com a rede elétrica da distribuidora. Quando a geração é superior à demanda, o sistema devolve a energia para a rede, no sentido contrário, para ser utilizada por outros consumidores, automaticamente sem intervenção. Quando a geração é inferior à demanda, ou no

período noturno, a diferença de energia é suprida automaticamente pela energia elétrica da distribuidora.

O sistema fotovoltaico conectado à rede é sincronizado com a energia elétrica da distribuidora, assim, quando falta energia, por questões de segurança, o sistema fotovoltaico é desligado automaticamente. O controle da geração de energia elétrica é realizado pelo medidor bidirecional de energia do consumidor, que mede a entrada e a saída de energia.

Figura 7: Sistema solar fotovoltaico ligado à rede



Fonte: Imagem do google

Vantagens

- Baixo custo
- Maior retorno financeiro com a geração distribuída

Desvantagens

- Depende do acesso à rede de fornecimento;
- Não tem sistema de armazenamento
- Necessário pagamento da conta de energia se a demanda superar a produção e não existirem créditos disponíveis.

3.1.3.3 Sistemas Fotovoltaicos *Off- grid*

Nesse tipo de sistema, a energia gerada é direcionada à alimentação dos aparelhos elétricos e armazenada em baterias, o que possibilita ter energia disponível quando o sistema não está gerando nenhuma energia. Quando o sistema fotovoltaico não é conectado à rede de distribuição elétrica convencional, a existência de baterias para armazenamento é indispensável, pois são elas que garantem a autonomia do sistema.

Por ser autônomo e independente da rede, não existe regulamentação específica para o sistema *off grid*, não havendo necessidade de um pedido formal de autorização para instalação e uso. Em geral, o sistema isolado é uma solução para atender a um

propósito específico, como trazer energia a locais remotos e de difícil acesso, onde o abastecimento energético padrão não chega ou não é eficiente, ou ainda onde o custo de se conectar à rede seja muito alto. (SOLAR VOLT, 2015). Gerar energia para postes de iluminação ou bombas d'água são outros exemplos comuns de seu uso.

Vantagens

- Independência Energética
- Energia Disponível em Locais Remoto

Desvantagens

- Custo mais elevado em relação ao sistema *on grid*
- Apresenta menor eficiência energética
- Causa impactos negativos ao meio ambiente por ser dependente de baterias

3.1.3.4 Componentes dos Sistemas Fotovoltaicos

Inversor

O inversor possui a função de receber a corrente gerada pelos painéis solares e transformar de corrente contínua para corrente alternada. Além de realizar esta função de conversão, os inversores são um ponto de proteção do sistema contra falhas elétricas e ainda fornece ao consumidor informações e estatísticas do sistema. (ENERGYSS PORTAL). Abaixo segue algumas características dos inversores.

- convertem corrente contínua (CC) do gerador fotovoltaico em corrente alternada (CA)
- rastream o ponto de máxima potência.
- garantem a qualidade da onda gerada (harmônicos), visando não ultrapassar parâmetros de tensão e de frequência pré-estabelecidos.
- incorporam dispositivos de segurança para equipamentos, pessoas e rede:
- isolamento galvânico;
- proteções de sobrecorrente;
- proteção anti-ilhamento;
- desconexão e reconexão automática.

Figura 8: Inversor fotovoltaico



Fonte: Imagem do google

Controlador de Carga

Controladores de carga foram desenvolvidos com a finalidade de controlar a carga das baterias, assim eles trabalham para manter a carga das baterias em níveis seguros, fazendo a gestão das cargas que estão entrando e saindo da bateria. Alguns controladores controlam somente a carga que está entrando nas baterias, não fazendo o controle da carga de saída que está sendo drenada da bateria. (ENERGIA TOTAL, 2017)

Figura 9: Controlador de Carga



Fonte: DGTEC (2021)

Baterias

As baterias solares visam armazenar a energia elétrica gerada pelos painéis solares fotovoltaicos para que possam ser usados à noite ou em dias nublados. O uso de baterias também permite fornecer uma intensidade de corrente mais alta do que aquela que um painel fotovoltaico em funcionamento pode oferecer (ORIOLO PLANAS, 2015). Este seria o caso se vários dispositivos elétricos fossem usados ao mesmo tempo. Uma bateria consiste em pequenos acumuladores elétricos de 2V incorporados no mesmo elemento. As baterias fornecem corrente contínua em 6, 12, 24 ou 48V.

A bateria monobloco é constituída por várias células de 2V, formando um único bloco. Baterias estacionárias, também conhecidas como acumuladores solares, são compostas por elementos de 2 volts conectados em série até que a tensão de trabalho desejada para a instalação solar seja atingida.

Figura 10: Banco de baterias de um sistema fotovoltaico



Fonte: TEM SUSTENTÁVEL (2021)

Estrutura de fixação

Geralmente o material utilizado nas estruturas é o alumínio ou aço inoxidável, a maioria das estruturas de fixação dos painéis estão disponíveis para a utilização em diversas aplicações como: cobertura de telhados, concretos, telhados metálicos telhas de fibrocimentos e também no solo. (PORTAL SOLAR). Essas estruturas podem ser personalizadas para atender diversas necessidades. A estrutura deve de fácil instalação feitas com materiais de alta qualidade e serem anticorrosivas.

Figura 11: Estrutura de fixação de painéis fotovoltaicos



Fonte: PORTAL SOLAR (2021)

3.1.3.5 Classificação dos Consumidores e Modalidades Tarifárias

As modalidades tarifárias são um conjunto de tarifas aplicáveis ao consumo de energia elétrica e demanda de potência ativas. Elas são definidas de acordo com o Grupo Tarifário, segundo as opções de contratação definidas na REN nº 414/2010.

Grupo A: Unidades consumidoras da Alta Tensão (Subgrupos A1, A2 e A3), Média Tensão (Subgrupos A3a e A4), e de sistemas subterrâneos (Subgrupo AS)

- **Horária Azul:** tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia (postos tarifários). Disponibilizada para todos os subgrupos do grupo A; e
- **Horária Verde:** tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia (postos tarifários), e de uma única tarifa de demanda de potência. Disponível para os subgrupos A3a, A4 e AS.

Grupo B: Unidades consumidoras da Baixa Tensão, das Classes Residencial (Subgrupo B1), Rural (B2), Demais Classes (B3) e Iluminação Pública (B4)

- **Convencional Monômnia:** tarifa única de consumo de energia elétrica, independentemente das horas de utilização do dia; e
- **Horária Branca:** tarifa diferenciada de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia (postos tarifários). Não está disponível para o subgrupo B4 e para a subclasse Baixa Renda do subgrupo B1.

Demais acessantes:

- **Distribuição:** tarifa aplicada às distribuidoras que acessam outras distribuidoras. Caracterizada por tarifa horária de demanda de potência e consumo de energia para o grupo A, e de tarifa de consumo de energia única para o grupo B; e
- **Geração:** tarifas aplicadas às centrais geradoras que acessam os sistemas de distribuição, caracterizada por tarifa de demanda de potência única.

É importante ressaltar também as modalidades tarifárias, que podem ser divididas em verde, amarela e vermelha, e que de acordo com a Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica), elas possuem as seguintes características:

- **Bandeira verde:** condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não sofre nenhum acréscimo;
- **Bandeira amarela:** condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 1,874 a cada 100 (kWh) consumidos.
- **Bandeira vermelha - Patamar 1:** condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 3,971 a cada 100 (kWh) consumido.
- **Bandeira vermelha - Patamar 2:** condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 9,492 a cada 100 (kWh) consumido.

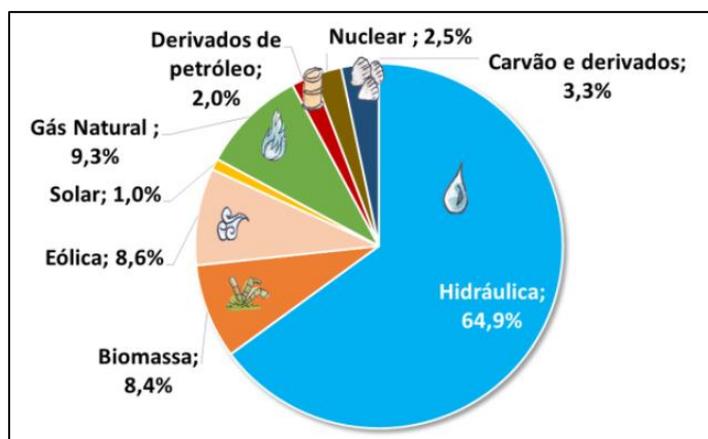
3.3 A PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA

Até a primeira metade do século XX, existia muita energia disponível, o petróleo era uma fonte barata e não havia a consciência coletiva sobre os impactos ambientais decorrentes da sua utilização em grande escala (LEANDRO FRANCESCHINI 2015).

A difusão dos meios eletrônicos, o crescimento econômico em algumas regiões do globo, o crescimento populacional verificado em alguns continentes, a elevação do número de automóveis em circulação ampliou o consumo de energia.

Projeções sobre o aumento da demanda de energia elétrica no mundo até 2030 apontam para a necessidade de uma ampliação substancial da capacidade de geração instalada nos cinco continentes. E o aumento do preço do petróleo tem levado muitos países a elevar a importância do gás natural e da energia nuclear, além de reforçar o papel desempenhado pelo carvão (combustível dominante para a produção mundial de energia elétrica), em suas matrizes energéticas (França, 2008). Os combustíveis fósseis constituem cerca de 80% da energia primária consumida no mundo, e mais de 57% daquela utilizada no setor de transportes (LINDFELDT E WESTERMARK, 2009).

Figura 12: Fontes de energia que geram eletricidade



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2019)

As principais fontes utilizadas para gerar eletricidade são de origem não renovável, mas a elevação dos preços dos combustíveis fósseis tem estimulado o interesse mundial pelas fontes de energia renováveis. (HUAYLLAS, 2015)

Diversas são as formas de energias limpas e renováveis e muitas, aliás, já estão em plena atividade em muitos lugares do mundo. No Brasil, especialmente desde a década de 1970, com a crise mundial de petróleo daquele período, iniciou-se um desenvolvimento de um modelo energético baseado em energias renováveis, derivados de produtos como biomassa florestal, cana-de-açúcar e outras fontes orgânicas: os biocombustíveis. Versáteis, os biocombustíveis podem ser utilizados de forma isolada ou mesmo adicionados aos combustíveis convencionais. Como exemplos de biocombustíveis temos o etanol, o biodiesel, o metanol, o carvão vegetal e o metano.

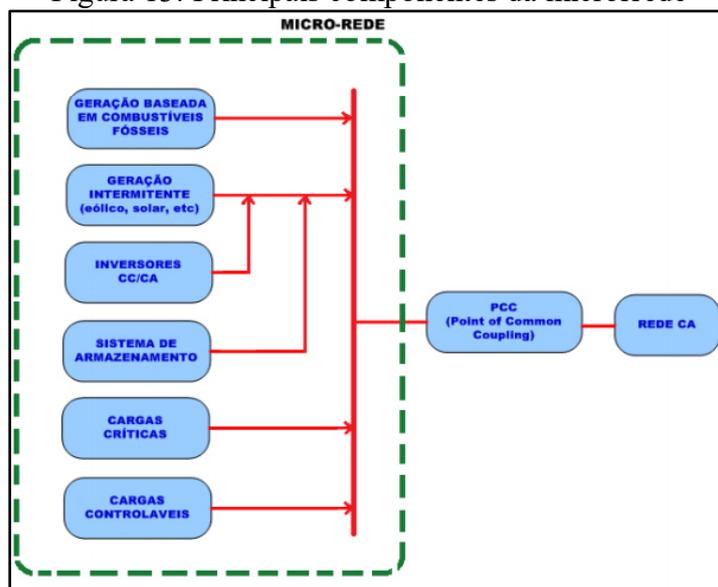
Ainda como forma de energias limpas, se destacam a energia eólica, a energia solar, a energia das marés e o biogás. Obviamente que, para a adaptação de qualquer modelo energético baseado em combustíveis fósseis para modelos sustentáveis, há de se considerar o tempo de adaptação e, principalmente, os gastos para se consolidar no mercado.

3.3.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS MICRO REDES

Há inúmeras definições para microrredes, dependendo do contexto em que são utilizadas. Uma das definições considera micro redes como sendo redes elétricas de baixa tensão ou, em alguns casos, de média tensão, compostas por fontes de geração distribuída (GD), em conjunto com dispositivos de armazenamento e de cargas controláveis (HATZIARGYRIOU et al., 2009). Outro termo bastante utilizado no contexto da micro rede é a geração distribuída (GD) que consiste na aplicação de geradores de pequeno porte o qual são chamados de fontes de energia distribuídas onde são instalados próximos do consumidor final para o suprimento de energia. Algumas das fontes de energia que se inserem como GD são: Geradores hídricos, geradores eólicos, painéis solares, pilhas e células a combustível, geradores a diesel e turbina a gás. (HATZIARGYRIOU et al., 2009).

Para Heldwein (2009) as microrredes são baseadas em controladores e equipamentos eletrônicos para o condicionamento de potência. Estes equipamentos têm a capacidade de, além de controlar o fluxo de potência, melhorar a qualidade das tensões disponíveis na rede. Estes talvez sejam os maiores benefícios de uma microrrede para o usuário, ou seja, o potencial para melhorar a qualidade e a confiabilidade da alimentação de energia elétrica por seus maiores níveis de redundância na geração.

Figura 13: Principais componentes da microrrede



Fonte: HUAYLLAS,2015.

A principal característica das microrredes é que, mesmo estando inicialmente conectadas à uma rede de energia, elas podem ser rapidamente isoladas, funcionando no modo de “ilha energética”, ou seja, desconectadas do sistema principal, em caso de avarias na rede a montante ou mesmo de opção operacional.

Existem hoje muitas formas de utilização desta tecnologia, sendo elas:

1. Quanto a forma de alimentação: INDIVIDUAL OU CENTRALIZADA
2. Quanto ao modo de operação: Sistema Isolado – off grid ou de ilha, Sistema Conectado à rede - on grid ou de operação normal, as quais serão implementadas

dependendo das necessidades do consumidor e da existência ou não, de uma rede distribuição presente no local definido.

SISTEMAS ISOLADOS - Off grid.

Este modo de operação resulta na geração de pequenos transitórios de tensão. A micro rede ilhada pode ter alguns problemas de desequilíbrio entre a carga e a geração. A fim de eliminar algumas, como um colapso de tensão é necessária a aplicação do respectivo alívio de carga (load shedding). Em termos econômicos este modelo de operação é atrativo para consumidores.

Figura 14: Sistemas Isolados - Off grid.



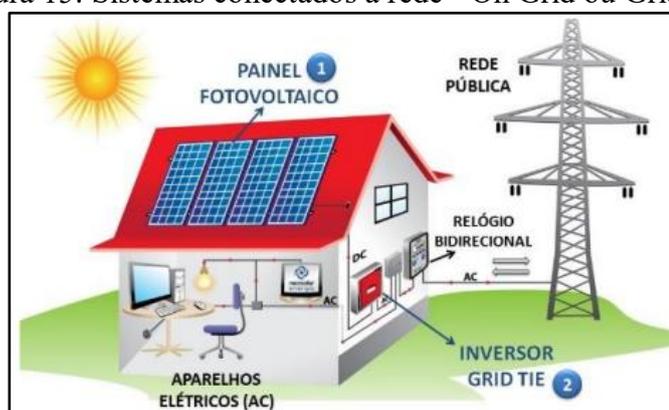
FONTE: Neosolar, 2016

Esse sistema abastece diretamente os aparelhos que utilizarão a energia e são geralmente construídos com um propósito local e específico. Esta solução é bastante utilizada em locais remotos já que muitas vezes é o modo mais econômico e prático de se obter energia elétrica nestes lugares.

❖ SISTEMAS CONECTADOS À REDE - On Grid

Nesse modo a micro rede pode oferecer suporte de reativos à rede, controlando assim a tensão local, além de ejetar potência ativa na mesma.

Figura 15: Sistemas conectados à rede - On Grid ou Grid Tie.



FONTE: Neosolar, 2016

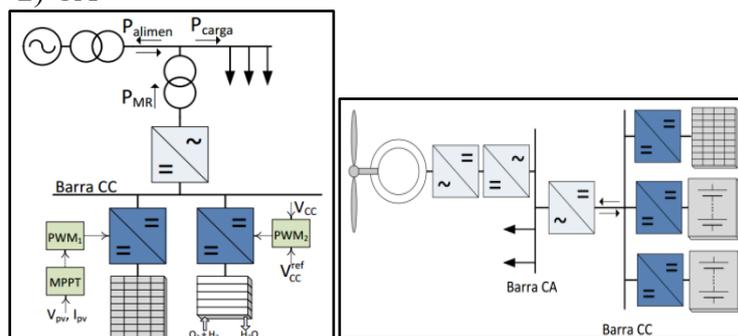
Diferente dos sistemas isolados que atendem a um propósito específico e local, estes sistemas também são capazes de abastecer a rede elétrica com energia que pode ser utilizada por qualquer consumidor da rede. Os sistemas conectados têm uma grande vantagem com relação aos sistemas isolados por não utilizarem baterias e controladores de carga. Isso os torna cerca de 30% mais eficientes e também garante que toda a energia seja utilizada, localmente ou em outro ponto da rede (NEOSOLAR, 2016).

3. Quanto a topologia: REDE RADIAL, MALHADA OU ANEL
4. Quanto ao modo de controle: CENTRALIZADA OU DESCENTRALIZADA
5. Quanto ao tipo de corrente: CONTÍNUA, ALTERNADA OU MISTA

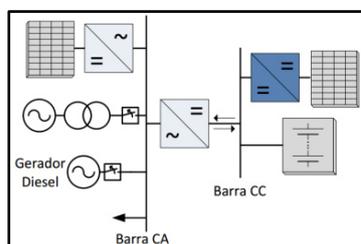
A diferença entre elas está essencialmente no tipo de barramento ao qual estão ligadas as fontes, cargas e sistemas de armazenamento, podendo ser concebidos barramentos em corrente alternada (CA), em corrente contínua (CC), ou ainda microrredes portando ambos tipos de barramento. Estas últimas garantirão maior flexibilidade em relação à ligação das cargas, possuindo, porém, maior complexibilidade no controle (KHANH, 2010). Abaixo temos uma figura ilustrativa dos três modelos:

Figura 16: Modelos e disposições de barramentos

1) CC 2) CA



3) CC e CA



Fonte: (KHANH, 2010).

Independente da configuração da microrrede, da sua localização, da fonte produtora, e de outros fatores que possa diferenciá-las, vários são os fatores de interesse sob os quais as microrredes e sua implementação tornam-se promissoras, e para HUAYLLAS (2015), estão entre eles:

- Capacidade de ilhamento durante quedas de energia ou blecautes na rede principal; idealmente, sem afetar a continuidade de suprimento aos outros usuários da microrrede;
- A injeção de potência na rede principal em períodos de ponta de carga reduzindo as perdas e evitando sobrecargas na rede da concessionária;
- Redução dos custos de energia do usuário pelo fato deste gerar sua própria energia a um custo inferior a tarifa concessionária;
- Redução de gastos poluentes (efeito estufa), caso a micro rede possua geração baseada em fontes de energia renovável;
- Possível capacidade de prestar serviços complementares (ancilares) dirigidos a aumentar a confiabilidade do sistema de distribuição tais como: suporte de tensão a rede principal, fornecimento de energia de reserva, capacidade de *black start* e ilhamento controlado;

Entre as desvantagens podem-se mencionar:

- A qualidade da tensão e frequência geradas, principalmente se a micro rede utiliza conversores para se conectar com a rede principal (em função dos harmônicos que a micro rede pode gerar). Estas grandezas deveriam se enquadrar nos padrões estabelecidos nas normas, evitando assim comprometer a operação regular de determinadas cargas;
- Dependendo do tipo de fonte de geração, pode ser necessário o uso de sistemas de armazenamento de energia, o que demanda espaço adicional e manutenção;
- Em função do tipo de automação da microrrede (complexa ou parcialmente automatizada), a sincronização com a rede elétrica durante a reconexão pode oferecer dificuldades;
- O sistema de proteção da microrrede e sua coordenação com o sistema da concessionária é um dos desafios em fase de investigação e aprimoramento;
- Questões regulatórias e de comercialização para a sua conexão à rede elétrica representam obstáculos a serem removidos;

3.3.1.1 ESTADO DA ARTE DAS MICROREDES DE ENERGIA ELÉTRICA

O desenvolvimento das tecnologias inseridas nas microrredes se tornou bastante expressivo nos últimos anos. Este desenvolvimento foi acompanhado pelo crescimento significativo de pesquisas relacionadas ao projeto, gerenciamento e operação das microrredes. Outro aspecto importante é o crescimento significativo da quantidade de microrredes instaladas em todo o mundo. Além do próprio desenvolvimento tecnológico, este crescimento é, em parte, devido aos incentivos governamentais quanto ao uso em maior escala das fontes renováveis de energia. (LEITE NETO, 2017).

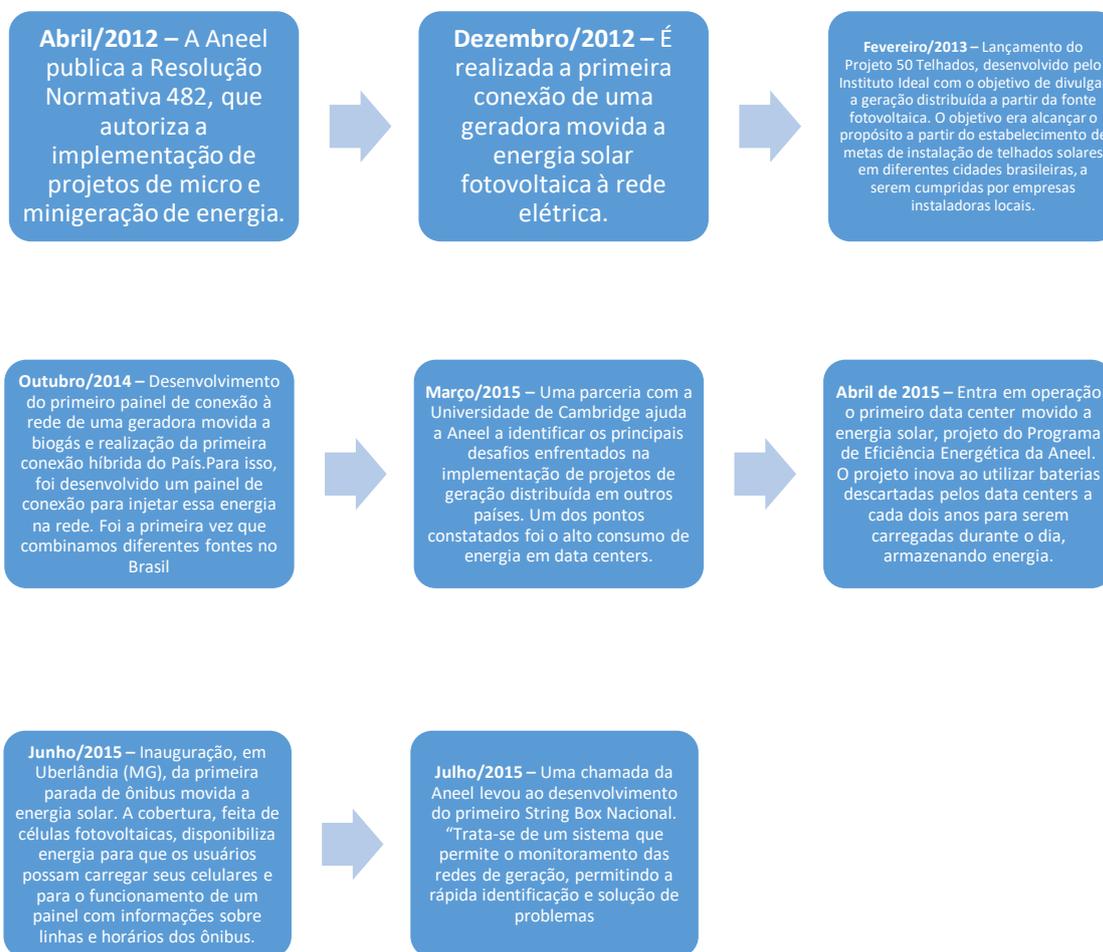
As instalações de micro redes em todo o mundo incluem desde projetos de eletrificação rural baseados em geradores a diesel que fornecem eletricidade a pequenas aldeias remotas, até grandes cidades futuristas e parques temáticos alimentados por múltiplas formas de energia renovável e usando as mais recentes tecnologias de micro redes.

Segundo Leite Neto (2017), várias pesquisas têm abordado diferentes subproblemas relacionados com as microrredes como: sistema de armazenamento, estratégia de controle e modelo de mercado. No entanto, o sistema de gerenciamento de energia que está inserido no controle da microrrede é o que mais é discutido e aperfeiçoado através de diferentes técnicas. E vários pesquisadores tem utilizado diversas

técnicas para tratar da otimização do gerenciamento de energia em uma microrrede, como por exemplo: Programação Linear, Programação não-Linear, Programação Estocástica, Programação Evolutiva, Controle Preditivo baseado em Modelo, Redes Neurais Artificiais, Lógica de Fuzzy. No geral, todas essas técnicas objetivam a diminuição dos custos, maior participação das fontes renováveis, atender as demandas, diminuir os efeitos ambientais e as emissões de gases poluentes pela rede principal, aumentar a vida útil das baterias, entre outros.

No panorama nacional, de acordo com Buiatti (2015), são estas inovações que impulsionaram o uso de fontes alternativas em microrredes nesse período de quatro anos, as quais podem ser vistas abaixo:

Figura 17: Panorama nacional das microrredes de 2012 a 2015



Fonte: Buiatti (2015)

O desenvolvimento de programas de pesquisa práticos sobre microrredes foi iniciado na década de 2000, em alguns países da União Europeia, Japão e EUA. Mas recentemente países como a China, Coreia do Sul e Cingapura tem apresentado interesse crescente sobre essa tecnologia. (HUAYLLAS,2015). Conforme a figura abaixo, a

América do Norte é a região com mais da metade do percentual total (65,4%), seguido da Europa (12,4%) e da Ásia —(12%). A América Latina está em terceiro lugar com 8,2%, o que demonstra seu potencial de crescimento.

Figura 18: Expansão da matriz energética brasileira



Fonte: ANEEL (2021)

Diante do panorama apresentado, podemos identificar algumas microrredes isoladas instaladas pelo mundo, como mostra o quadro abaixo.

Tabela 1: Descritivo de micro redes isoladas instaladas pelo mundo.

Detalhes				Fontes Não Renováveis	Fontes Renováveis				Armazenamento			Tipo de Microrrede	Capacidade total (kW)	Aplicação
Nome	Local	País	Ano	Diesel [D]; Correntes[C]; Gás [G]; Hidro [H]; Microgeração[M]	Eólica	Fotovoltaica	Células Combustíveis	Biogás	Baterias	Volantes de Inércia	Capacitores	Remota [R]; Conectada à rede [C]; Campus Universitário [U]; Topologia AC/CC		
Sistema de Geração Híbrida Eólico – Solar – Diesel da Ilha de Lençóis	Cururupu	Brasil	2008	D	•	•			•			R, AC	43	Para atendimento à comunidade isolada
Sistema de Geração Solar Fotovoltaico da Ilha Grande	Humberto de Campos	Brasil		D		•			•			R, AC	30	Para atendimento a comunidade isolada
Microrred test facility in Yokahoma		Japão	2008	G	•	•		•	•			R, AC	100	Para pesquisas do Instituto de Pesquisa de Yokahoma
Hawaii Hydrogen Power Park	Hawii	EUA	2012		•	•	•		•			R, DC	200	Microrrede para testes
Eigg island plant		Escócia		H	•	•				•		R, AC	144	Para atendimento em comunidade isolada
Mannheim-Wallstadt residential Plant	Mannheim	Alemanha	1992 2003			•						R, AC	30	Para deslocamento de carga
KERI Microgrid System	Jeju Island	Coreia	2008	D	•	•	•		•			R, AC	100	Para estabelecer uma microgrid piloto
San Juanito Plant	San Juanito	México	2004	D	•	•						R, CC	200	Para atendimento à comunidade isolada
Mt. Newall Microgrid	Mt. Newall	Antártida	2002	D	•	•						R, AC	10	Para atendimento a laboratórios de pesquisa
Kozuf Microgrid	Kozuf Mounain	Macedônia	2007			•		•				R, AC	5	Atendimento a um centro de Ski
Santa Cruz Island	Califórnia	EUA	2005	D		•			•			R, CC	300	Para uso da Marinha/EUA
Sunwize Power Plant		Canadá		D	•	•			•			R, AC	15	Sistema standby
Campinas Microgrid	Campinas	Brasil	2001	D		•			•			R, CC	150	Para atendimento residencial
Xcalac Microgrid	Xcalac	México			•				•			R, CC	150	Para atendimento à comunidade isolada

Detalhes				Fontes Não Renováveis	Fontes Renováveis				Armazenamento			Tipo de Microrrede	Capacidade total (kW)	Aplicação
Nome	Local	País	Ano	Diesel [D]; Correntes[C]; Gás [G]; Hidro [H]; Microgeração[M]	Eólica	Fotovoltaica	Células Combustíveis	Biogás	Baterias	Volantes de Inércia	Capacitores	Remota [R]; Conectada à rede [C]; Campus Universitário [U]; Topologia AC/CC		
Isla Tac Microgrid Plant	Isla Tac	Chile	2002	G	*				*			R, AC	40	Para atendimento à comunidade isolada
Subax residencial microgrid	Subax	China	2006	G, D	*	*			*			R, AC	50	Para atendimento à comunidade isolada
Dangling Rope Marina Microgrid	Utah	EUA	2001			*						R, AC	160	Atendimento a um parque nacional
Kotzebue Microgrid Plant	Alaska	EUA	1997	D	*							R, AC	11000	Para aplicação em áreas remotas
Alto Bagaules Microgrid Plant	Coyhaique	Chile	2001	D, H	*							R, AC	23000	Para aplicação em áreas remotas
Wales Alaska Power Plant	Alaska	EUA	2002	D	*				*			R, AC	500	Para atendimento a áreas rurais
St. Paul Power Plant	Alaska	EUA	1999	D	*							R, AC	500	Para aplicação industrial/aeroporto
Ascension Island Power Plant	Ascension Island	Canadá	1996		*							R, AC	225	Para atendimento a comunidade isolada

Fonte: LEITE NETO adaptado de HOSSAIN, 2017.

Como pode-se ver a existência de microrredes pelo mundo ainda é reduzida e a expansão dessa tecnologia exigirá um grande esforço de pesquisa e desenvolvimento. Apesar do esforço em desenvolvimento no exterior, existe a necessidade da adaptação dos mesmos às condições locais e desenvolvimentos próprios para atender as necessidades específicas do Brasil.

Segundo FALCÃO (2009), alguns dos temas relevantes para esse desenvolvimento são:

- Guia de inovação tecnológica (*roadmap*) em *Smart Grid* e Microrredes para o Brasil;
- Impacto da proliferação de geração distribuída, microgeração e técnicas de armazenamento de energia no sistema elétrico;
- Problemas de conexão de fontes alternativas às redes de transmissão e distribuição;
- Aspectos técnicos e comerciais das Microrredes;
- Esquemas de gerenciamento da demanda (resposta da demanda);
- Aplicações de medição fasorial sincronizada em monitoração, controle e recomposição dos sistemas de transmissão;
- Automação da distribuição;
- Aspectos econômicos e regulatórios para implantação da tecnologia *Smart Grid* e Microrredes;
- Sistemas de comunicações para automação da rede elétrica (PLC, BPL, etc.) e *wireless*.

Para PEREIRA et al (2006), as perspectivas e oportunidades de aproveitamento do potencial econômico relacionado com a exploração comercial dos recursos energéticos da radiação solar dependem basicamente de dois fatores:

- 1) do desenvolvimento de tecnologia competitiva de conversão e armazenamento dessa energia; e
- 2) de informações seguras e da política energética do país.

Grande parte dos potenciais investidores e produtores do setor energético não dispõem de informações nem de conhecimento, com o embasamento científico necessário, sobre as opções em fontes renováveis de energia e, por conta disso, tendem a evitar os riscos econômicos e financeiros associados ao desenvolvimento de projetos nessa área.

3.3.3 APLICAÇÕES DAS MICRORREDES NO CONTEXTO NORDESTINO

Segundo um levantamento da Aneel (2017), o Brasil ainda possui 1 milhão de residências sem luz. E muitas delas se localizam nos interiores do país onde o IDH (Índice de desenvolvimento humano) é mais baixo, e as condições de vida, mais precárias. Como exemplo, o estado do Piauí, na região nordeste, possui seis cidades com mais de 50% das

residências sem energia elétrica. A utilização da energia solar pode trazer benefícios a longo prazo para o país, viabilizando o desenvolvimento de regiões remotas, onde o custo da eletrificação pela rede convencional é demasiadamente alto com relação ao retorno financeiro do investimento, regulando a oferta de energia em períodos de estiagem, diminuindo a dependência do mercado de petróleo e reduzindo as emissões de gases poluentes na atmosfera. (PEREIRA e COLLE, 1997)

Como já visto, a geração de energia elétrica sustentável nas microrredes pode ser feita a partir de diversas fontes renováveis, porém no nordeste brasileiro a energia solar e eólica são as fontes mais abundantes e constantes, tornando-se as mais viáveis. Apesar de a produção de energia eólica - 10,3% (ABEEólica, 2020) ser a maior no país e receber o maior volume de investimentos, os projetos que utilizam a energia solar – 1,9% (ABEEólica, 2020) são bem mais simples, acessíveis e indicados para o local em discussão. O Brasil, por ser um país localizado na sua maior parte na região intertropical, possui grande potencial para aproveitamento de energia solar durante todo ano, como mostra o mapa abaixo.

Figura 19 – Potencial Fotovoltaico no Brasil - (kWh/m²)



Fonte: THE WORD BANK SOLAR, 2017.

Analisando-se o mapa, as regiões onde a irradiação solar é mais propícia, seria no Nordeste e no Centro-oeste em quase sua total extensão, apresentando os maiores índices de potencial: entre 5,8 e 6,2 kWh/m² por dia equivalendo a 2118 e 2264 kwh/m² por ano. A partir do dimensionamento do sistema, para o distrito Seriema no município de Barbalha –CE que é desprovido de energia elétrica, e possui 365 pessoas, 52 residências, com base em alguns estudos que mostram que o consumo de uma residência de baixo padrão é em média de 180kWh/mês/residência. De acordo com a localização do município, a média de horas de sol pleno é de 5,83horas (MME, 2019). O valor da produção de potência fornecida pelos painéis fotovoltaicos depende de alguns fatores, sendo estes a irradiação que atinge o painel, a sua inclinação e o rendimento. Os valores indicados são obtidos para uma inclinação dos painéis solares de 15°, sendo essa angulação resultando na maior média anual da irradiação solar. O módulo fotovoltaico utilizado no dimensionamento foi da marca Sun Power, modelo SPR-440NE-WHT-D,

com potência nominal de 440 W. O módulo escolhido apresenta eficiência nominal satisfatória, superando a marca de 21% (POSHARP, 2016). Suas características elétricas podem ser vistas na tabela abaixo.

Tabela 2: Características elétricas do módulo fotovoltaico

Potência máxima	440 W
Tensão de máxima potência	72,9 V
Corrente de máxima potência	6,04 A
Tensão de circuito aberto	86,5 V
Corrente de curto circuito	6,5 A
Área do módulo	2,16 m ²
Eficiência nominal	21,3%

Fonte: adaptada de (POSHARP, 2016).

A demanda de energia com base nas informações anteriores é de 9,36 MWh/mês, porém, de acordo com o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) no Ceará a população cresce em torno de 1,5 % ao ano, logo em aproximadamente 13 anos a população será 20% maior, resultando em um aumento da demanda energética de 11,23MWh/mês resultando em uma geração diária de 374 kWh.

Sendo assim, tem-se que o valor para a potência mínima do sistema pode ser determinado pela seguinte expressão:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{374}{5,83} = 64kW \quad (1)$$

O cálculo da energia produzida pelo módulo pode ser realizado pela Eq.(4) (VILLALVA; GAZOLI, 2012),

$$Ep = Es \times Am \times \eta m \quad (2)$$

onde, Ep é a energia produzida pelo módulo diariamente em Wh, Es é a irradiância diária em Wh/m²/dia, Am é a área da superfície do módulo em m² e ηm é a eficiência do módulo.

Considerando os valores de área e eficiência do módulo sendo 2,16 m² e 21,3%, respectivamente, e a irradiância média registrada de 5,83 kWh/m².dia, a energia produzida mensalmente por um módulo é 2,682 kWh/dia.

Utilizando a equação 3 é possível calcular o número de módulos necessários para se obter uma geração mensal de energia de 11,23 MWh. Sendo assim, aplicando os dados obtidos, conclui-se que são necessários 146 módulos na instalação fotovoltaica para atender a demanda.

$$Np = \frac{E_{sistema}}{E_{módulo}} = \frac{64000}{440} = 146 \quad (3)$$

Np é o número de módulos da instalação fotovoltaica, Esistema é a energia produzida pelo sistema em kWh e Emódulo é a energia produzida por um módulo em kWh.

Para uma melhor disposição e conexão do sistema, foram acrescentados mais 4 módulos fotovoltaicos totalizando 150, sendo dispostos em cinco grupo de 30 painéis da seguinte forma:

- 6 módulos conectados em série por string;
- 5 strings em paralelo;

Figura 20 - O sistema Ingecon Hybrid MS indicando suas entradas e saídas.



Fonte: (INGETEAM, 2016).

O inversor que será utilizado deverá suprir uma demanda de 20% a mais da potência gerada ou seja: 96 kW

Figura 21: Inversor utilizado no projeto



Fonte: imagens do google

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Diante da necessidade de uma localidade onde não tem energia elétrica um bem essencial atualmente, buscou-se estudar a viabilidade de implementação de uma microrrede no sertão Nordeste. A partir do que foi exposto e com base nos dados meteorológicos coletados do distrito de Seriema no município de Barbalha-CE, o projeto visa a instalação de microrredes usando energia solar fotovoltaica para uma demanda de aproximadamente 52 residências com um consumo médio de 180 kWh/mês/residência. De acordo com os dados nessa localização tem médias de 5,83 horas de sol pleno por dia e a potência fornecida pelos painéis fotovoltaicos do modelo SPR- 440NE-WHT-D É DE 440W, módulo escolhido apresenta eficiência nominal satisfatória, superando a marca de 21% (POSHARP, 2016). A demanda de energia do povoado é de 9,36 MWh/mês, porém

prevendo um possível aumento da população, foi acrescentado 20% da demanda resultando assim em 11,23MWh/mês resultando em uma geração diária de 374 kWh.

Considerando os valores de área e eficiência do módulo sendo 2,16 m² e 21,3%, respectivamente, e a irradiância média registrada de 5,83 kWh/m².dia, a energia produzida mensalmente por um módulo é 2,682 kWh/dia. O número de módulos necessários para se obter uma geração mensal de energia de 11,23 MWh. Sendo assim, aplicando os dados obtidos, conclui-se que são necessários 146 módulos na instalação fotovoltaica para atender a demanda.

Os resultados acima foram obtidos através das equações abaixo:

Potência mínima do sistema

$$P = \frac{E}{t} = \frac{374}{5,83} = 64kWp$$

Energia produzida pelo módulo diariamente

$$Ep = Es \times Am \times \eta m$$

$$0,213 \times 2,16 \times 5,83 = 2,682 \text{ KWh/dia}$$

Número de painéis fotovoltaicos

$$Np = \frac{Esistema}{Emódulo} = \frac{64000}{440} = 146$$

5 - CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma análise do tema Microrredes e seus impactos no desenvolvimento dos sistemas de energia elétrica a partir de fontes renováveis na região do nordeste brasileiro onde ainda existem localidades sem o fornecimento de energia elétrica pela concessionária. O trabalho também abordou um estudo de caso no qual foi realizado um dimensionamento de uma microrrede que com base nos cálculos se mostrou muito eficaz e viável, visto que há demanda e um alto potencial de geração de energia elétrica na localidade. O conceito de microrrede, apesar de terem sido introduzidos recentemente, já se colocam como alternativas reais para a otimização da qualidade de fornecimento de energia elétrica. As tecnologias necessárias à sua implantação estão disponíveis a custos razoáveis. Uma questão fundamental a ser resolvida é a avaliação do impacto dessa nova tecnologia no custo da energia para o consumidor final.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Alteração da Resolução Normativa nº 482, De 17 de Abril de 2012. Altera em 24 de outubro de 2015 a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e o Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2015/026/documento/nota_tecnica_0017_2015_srd_-_anexo_i_-_minuta_resolucao.pdf> Acesso em Jan. 2019.

BRASIL, 2017 **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017** Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf>> Acesso em: 07 abr. 2019.

FALCÃO, Djalma M. Smart Grids e Microrredes: O Futuro Já é Presente. COPPE/UFRJ BRASIL

FRANÇA, Cassio Luiz de. 2008 Revista **LE MONDE DIPLOMATIQUE** Energia: Responsabilidade compartilhada EDIÇÃO - 8 | BRASIL.

HUAYLLAS, Tesoro Elena del Carpio. 2015. Microrredes elétricas: estado da arte e contribuição para o dimensionamento, aplicação e comercialização da energia produzida. Tese (Doutorado) **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétrica**. 2015.

LINDFELDT, E.G. e M.O. Westermarck. 2009. Biofuel production with CCS as a strategy for creating a CO₂-neutral road transport sector. *Energ. Procedia* 1, 4111-4118.

Microrredes em Corrente Contínua: Qualidade de Fornecimento e Eficiência em Futuras Redes de Distribuição Marcelo Lobo Heldwein, Dr. Sc.

SANTOS, Mauricio Oliveira. **Geração Distribuída Baseada em Energia Solar e Eólica**: Uma alternativa de Geração Auxiliar. 2017. 53 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – **UNIME**, Lauro de Freitas, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.pgsskroton.com.br/bitstream/123456789/15422/1/MAURICIO%20DE%20OLIVEIRA%20SANTOS.pdf>> Acesso em: 25 fev. 2018.

SBI – Energy, The Word Market for Microgrids. Disponível em: <<http://www.sbiereports.com/Microgrids-2835891>> Acesso em: 20 mar. 2019.

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica.

Atlas brasileiro de energia solar / Enio Bueno Pereira; Fernando Ramos Martins; Samuel Luna de Abreu e Ricardo Rütger. – São José dos Campos: INPE, 2006.

LEITE NETO, Pedro Bezerra. Contribuição para a operação energética e econômica de microrredes isoladas com fontes renováveis diversificadas. 2017. 181 folhas. **Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Eletricidade da Universidade Federal do Maranhão**. Disponível em: <<file:///C:/Users/windows/OneDrive/Documents/BIBLIOGRAFIA%20-%20TCC%20ELETROTECNICA/PedroLeiteNeto.pdf>> Acesso em: 28 mar. 2019.

Portal Solar, www.portalsolar.com.br, 2021, Sistema de Energia Solar Off Grid. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/sistema-energia-solar-off-grid>. Acesso em: 07 de março de 2021.

Solarvolt, solarvoltenergia.com.br, 2019, Sistema fotovoltaico conectado à rede (On Grid). Disponível em: <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/sistema-fotovoltaico-isolado-ou-conectado>. Acesso: 07 de março de 2021.

Global solar atlas, www.globalsolaratlas.info, 2021. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/map?c=-7.314753,-39.300327,14&s=-7.316328,-39.300842&m=site>. Acesso em: 07 de março de 2021.

Roberta A. e Silva; Vicente de P. R. da Silva; Enilson P. Cavalcanti; David N. dos Santos, **Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol.14 no.5, Campina Grande, maio de 2010.

ANEEL, www.aneel.gov.br, 2020, bandeiras tarifárias. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>. Acesso em: 07 de março de 2021.