



ESTUDO DE VIABILIDADE DE MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA SOLAR FOTOVOLTAICA DE 88,23 kWp CONECTADO À REDE DE DISTRIBUIÇÃO

MATEUS ALTIMARI FILIPPIN SOARES - mateus.altimari@unesp.br
UNESP

ANA ELISA ALENCAR SILVA DE OLIVEIRA – ana.alencar@unesp.br
UNESP

DANIELLA GONZALEZ TINOIS DA SILVA - daniella@unilins.edu.br
UNILINS

WILHAN RANGEL DE FREITAS - wr.freitas@unesp.br
UNESP

EDUARDO MARTINS MORGADO – eduardo.morgado@unesp.br
UNESP

ÁREA: ENGENHARIA DA SUSTENTABILIDADE

SUBÁREA: GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS E ENERGÉTICOS

RESUMO: ESTE ARTIGO TEM POR OBJETIVO VERIFICAR A VIABILIDADE DE MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA SOLAR FOTOVOLTAICA DE 88,23 KWP CONECTADO À REDE DE DISTRIBUIÇÃO. O BRASIL E O MUNDO ESTÃO PROCURANDO FONTES ALTERNATIVAS PARA GERAR ELETRICIDADE QUE DEGRADE MENOS O MEIO AMBIENTE E QUE SEJA SUSTENTÁVEL. A EXPANSÃO DA PRODUÇÃO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA BRASILEIRA E A APROVAÇÃO DO MARCO LEGAL DA GD PELA LEI 14300, QUE JUNTO COM AS RESOLUÇÕES NORMATIVAS Nº 482/2014 E Nº 687/2016 DA ANEEL INCLUI O SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE CRÉDITO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA MINIGERAÇÃO E MICROGERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR, TORNOU-SE VIÁVEL TÉCNICA E ECONOMICAMENTE, A INSTALAÇÃO DE SISTEMAS GERADORES DE ENERGIA FOTOVOLTAICA CONECTADOS À REDE ELÉTRICA. SENDO ASSIM, NESTE TRABALHO FORAM LEVANTADAS ALGUMAS INFORMAÇÕES TÉCNICAS A RESPEITO DO USO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA NA ESCOLA SESI 136 DA CIDADE DE PENÁPOLIS (SP). CONFORME OS DADOS COLETADOS FOI DIMENSIONADO UM SISTEMA DE GERAÇÃO COMPOSTO POR 173 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS, COM POTÊNCIA DE 510WP CADA, E 1 INVERSOR, COM MÁXIMA POTÊNCIA CC DE 90.000W E COM MÁXIMA POTÊNCIA CA DE 60.000W. O SISTEMA PROJETADO TEM A PREVISÃO DE GERAR 159,3MWH.

PALAVRAS-CHAVE: MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. ENERGIA ELÉTRICA.

1. INTRODUÇÃO

A energia fotovoltaica tem emergido como uma das fontes de energia renovável mais promissoras e sustentáveis do século XXI.

Em um cenário global onde a demanda por energia limpa e a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa são mais urgentes do que nunca, a tecnologia fotovoltaica apresenta uma solução viável e eficiente. Esta tecnologia converte a luz solar diretamente em eletricidade através do efeito fotovoltaico, utilizando células solares compostas por materiais semicondutores.

Atualmente, na matriz elétrica brasileira a segunda maior fonte de energia é a solar com investimentos que somam R\$ 195 bilhões e geração de mais de 1,2 milhão de empregos. Os sistemas fotovoltaicos instalados no território brasileiro têm crescido consideravelmente, principalmente, nas regiões Sul e Sudeste do país. A participação desta modalidade equivale a 17,4% da produção de energia o que colocou o Brasil no 6º maior produtor de energia solar do mundo (Felix, 2024).

O Brasil possui uma vantagem por conta do extenso potencial energético a partir da energia solar, tendo em vista que os níveis de incidência solar são superiores aos de países que desenvolvem projetos fotovoltaicos com mais frequência, como Alemanha, França e Espanha (Colares, 2022).

Neste cenário, em 2022 foi sancionada a Lei 14300, que 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); que deu segurança jurídica para a compensação de energia com a instalação de pequenos geradores na unidade consumidora (Brasil, 2022).

O Brasil possui 1.890.095 sistemas fotovoltaicos ligados à rede com uma potência instalada de 20.417,0 MW estabelecendo uma maior economia em relação às distribuidoras convencionais, além da manutenção e preservação ambiental do País (Portal Solar, 2024).

A geração distribuída é caracterizada pela instalação de geradores de pequeno porte, normalmente a partir de fontes renováveis ou mesmo utilizando combustíveis fósseis, localizados próximos aos centros de consumo de energia elétrica.

De forma geral, a presença de pequenos geradores próximos às cargas pode proporcionar diversos benefícios para o sistema elétrico, dentre os quais se destacam a postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão; o baixo

impacto ambiental; a melhoria do nível de tensão da rede no período de carga pesada e a diversificação da matriz energética.

Tendo em vista melhores informações técnicas a respeito do uso de energia fotovoltaica, neste trabalho foi realizado um estudo de caso sobre o dimensionamento do sistema geração de energia elétrica fotovoltaica.

Minigeração distribuída é caracterizada por uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW 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 por meio de instalações de unidades consumidor (CPFL, 2022).

A partir do objetivo de verificar a viabilidade de minigeração distribuída solar fotovoltaica de 88,23 kWp conectado à rede de distribuição foram calculados os principais componentes do sistema - os módulos fotovoltaicos e o inversor - de uma escola localizada no interior do estado de São Paulo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Energia solar fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é baseada na conversão de energia solar em eletricidade por meio de materiais semicondutores, resultando em um fenômeno conhecido como efeito fotovoltaico (Lima Neta, 2021).

O efeito fotovoltaico foi observado pelo francês Edmond Becquerel que com uma solução de selênio observou o aparecimento de um entre os eletrodos quando iluminado pela luz solar (Lima *et al.*, 2020).

A partir do relatório de Edmond Becquerel em 1839, a energia solar fotovoltaica ocorre “quando uma diferença de potencial aparece nas extremidades de uma estrutura semicondutora, devido à luz. No processo de conversão de energia radiante em elétrica, a célula é a unidade fundamental” (Nascimento, 2004, p. 20).

As células são constituídas com um material com condutividade elétrica intermediária entre condutores e isolantes, ou seja, material semicondutor (Colares, 2022).

O silício é o semicondutor mais utilizado, caracterizado por átomos contendo quatro elétrons que estabelecem conexões com átomos vizinhos, criando uma estrutura cristalina.

Apesar disso, o silício puro é um mau condutor devido à sua contagem limitada de elétrons livres. Consequentemente, durante o processo de doping, uma quantidade específica de fósforo e boro é normalmente introduzida (Colares, 2022).

A adição de átomos com três elétrons de ligação, como o boro, resulta em uma deficiência de elétrons para preencher conexões com átomos de silício dentro da estrutura; essa deficiência é conhecida como buraco (Ferreira; Silva Filho, 2016).

Posteriormente, com o mínimo de energia térmica, um elétron de um local adjacente pode migrar para essa posição, fazendo com que o orifício se desloque. Portanto, o boro atua como um aceitador de elétrons ou p-dopante (Silva, Rubbo, Rampinelli, 2014).

Por outro lado, quando átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, são incorporados, um elétron extra que não pode formar um par fica frouxamente ligado ao átomo original (Ribeiro, 2024).

O fósforo funciona como um dopante doador de elétrons, rotulado como dopante n ou impureza n. Ao introduzir átomos de boro em uma metade e fósforo na outra metade do silício puro, uma junção p-n é estabelecida. Nessa junção, elétrons livres da região n migram para a região p, onde interagem com os buracos presentes; isso leva a um acúmulo de elétrons no lado p, resultando em uma carga negativa, e uma redução de elétrons no lado n, levando a uma carga positiva. As cargas aprisionadas geram um campo elétrico permanente que inibe o movimento adicional de elétrons do lado n para o lado p; o equilíbrio é alcançado quando o campo elétrico forma uma barreira capaz de bloquear os elétrons livres restantes no lado n (Cresesb, 2008).

Classificadas de acordo com a sua estrutura molecular, as células fotovoltaicas de silício podem ser: monocristalinas (feitas a partir de um único cristal de silício ultrapuro, mais caras, porém mais eficientes), policristalinas (requerem um processo de separação celular menos rigoroso de modo que a eficiência é ligeiramente inferior à das células monocristalinas, custam menos que o monocristalino) e silício amorfo (apresenta alto grau de desordem na estrutura dos átomos) (Cresesb, 2008).

Devido à sua capacidade de absorver a radiação solar dentro do espectro visível e sua capacidade de fabricação por meio da deposição em vários substratos, o silício amorfo surgiu como uma tecnologia robusta para sistemas fotovoltaicos econômicos. As vantagens do silício amorfo servem para compensar as deficiências observadas anteriormente, incluindo um processo de fabricação que é relativamente simples e barato, o potencial de produzir células de tamanho considerável e o consumo reduzido de energia durante a produção (Cresesb, 2008).

2.2 Componentes básicos de Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) ou *On-Grid*

Os componentes básicos de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) são: módulos fotovoltaicos; inversor Corrente Contínua (CC)/Corrente Alternada (CA); cabos de conexão; suporte para apoio dos módulos fotovoltaicos e dispositivos de conexão CC/CA (Melo, 2023).

O módulo fotovoltaico consiste em várias células fotovoltaicas, que são responsáveis por transformar a luz incidente em energia elétrica fotovoltaica. Devido à baixa tensão e à corrente de saída inerentes a uma célula fotovoltaica, várias células são montadas juntas para criar um módulo. A configuração das células dentro dos módulos pode ser obtida por meio de conexões em série ou paralelas (Melo, 2023).

Conectar as células em paralelo resulta no alinhamento preciso das correntes cumulativas de cada módulo e da tensão do módulo com a tensão da célula. A corrente gerada pelo efeito fotovoltaico é contínua. No entanto, esse layout raramente é empregado devido às características específicas das células (corrente máxima em torno de 3A e tensão muito baixa de aproximadamente 0,7V), exceto em circunstâncias altamente exclusivas (Cresesb, 2008).

Normalmente, a potência de saída dos módulos é determinada pela potência de pico. Embora esse parâmetro seja crucial, existem outros atributos elétricos que melhor delineiam o comportamento operacional do módulo. As principais características elétricas dos módulos fotovoltaicos incluem: tensão de circuito aberto (V_{oc}); corrente de curto-circuito (I_{sc}); potência máxima (P_m); tensão máxima de potência (V_{mp}); corrente máxima de potência (I_{mp}) (Cresesb, 2008).

O alinhamento dos módulos deve ser direcionado para a linha do equador, ou seja, no Brasil (hemisfério sul), o módulo deve estar voltado para o hemisfério norte. O ângulo de inclinação depende da latitude do local de instalação (Cari, 2020).

As condições padrão para gerar as curvas características dos módulos são especificadas como um nível de radiação de $1000W/m^2$ (radiação recebida na superfície da Terra em um dia claro, ao meio-dia) e uma temperatura celular de $25\text{ }^{\circ}C$ (a eficiência da célula diminui com o aumento das temperaturas) (Cari, 2020).

Os principais fatores que influenciam os atributos elétricos de um painel são a intensidade luminosa e a temperatura da célula. A corrente produzida nos módulos aumenta proporcionalmente com o aumento da intensidade luminosa. Por outro lado, temperaturas

elevadas das células levam à diminuição da eficiência do módulo, deslocando assim os pontos operacionais em direção à potência máxima de saída (Cari, 2020).

O inversor, caracterizado como um aparelho eletrônico, é responsável pela conversão de corrente contínua e tensão em corrente e tensão alternadas (DC para AC). Inicialmente decorrente de módulos fotovoltaicos, a conversão de corrente contínua e tensão em corrente e tensão alternadas é adaptada para se adequar aos parâmetros específicos da rede à qual está conectada, normalmente 127/220/380 VAC (variando de acordo com a região) e 60 Hz (Pinho; Gaudino, 2015).

Dentro da estrutura dos Requisitos de Conexão de Instalações Solares (SFCR), os inversores possuem características únicas que são personalizadas para satisfazer os padrões estabelecidos pelas empresas de serviços públicos em relação à segurança e qualidade da eletricidade fornecida à rede. Um atributo notável é a capacidade de monitoramento que garante a sincronização com os níveis de frequência e tensão da rede, realizada por meio da regulação da tensão por meio de um componente denominado *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), que determina a interseção ideal de tensão e corrente para aumentar a eficiência da produção de energia no sistema (Colares, 2022).

2.3 Sistema fotovoltaico conectado à rede

Em projetos de sistema fotovoltaico conectado à rede não há o armazenamento de energia elétrica em bancos de bateria. Os sistemas operam no mesmo molde da rede local, ou seja, em corrente alternada, na mesma frequência e tensão. Quando há falta de tensão na rede, o sistema fica inoperante mesmo com irradiação solar presente (Freitas, 2023).

A rede local deve ser capaz de receber a energia elétrica gerada, bem como a qualidade da energia da rede pode comprometer a transferência de energia do sistema (Freitas, 2023).

A instalação de um sistema conectado à rede deve ainda seguir a norma específica da concessionária local de distribuição de energia elétrica, que de acordo com o Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (Prodist) deve estar acessível na página da empresa na internet, em um processo que se inicia pela solicitação de acesso (ANEEL, 2022).

2.4 Proteção do sistema fotovoltaico

Em sistemas fotovoltaicos, como em qualquer sistema elétrico, os principais componentes utilizados para proteger pessoas e equipamentos são as chaves, os fusíveis, os disjuntores e os Dispositivos de Proteção Contra Surtos (DPS).

Os componentes de proteção dos sistemas fotovoltaicos devem ser selecionados em função dos valores máximos permitidos de tensão e corrente em cada trecho do circuito (ABNT, 2008).

Os Dispositivos de Proteção Contra Surtos (DPS) segue a norma ABNT 5410 e 5419-1, onde tem a finalidade de proteção das instalações elétricas e os equipamentos eletroeletrônicos contra surtos, sobretensões ou transientes diretos ou indiretos, podendo ser ocasionado por descarga atmosféricas ou manobras da concessionária (ABNT, 2008; ABNT, 2018).

Para o seu perfeito funcionamento, necessitamos da realização de um aterramento no local, pois o dispositivo tem função de desviar o surto para terra. A NBR 5410 trata do aterramento de sistemas elétricos de baixa tensão. O aterramento é a ligação intencional de estruturas ou instalações com a terra, visando garantir o funcionamento correto da instalação e, principalmente, proporcionar um caminho preferencial às correntes elétricas indesejáveis de surto, falta ou fuga, de forma a evitar riscos para as pessoas e os equipamentos (ABNT, 2008).

Em sistemas fotovoltaicos conectados à rede, é necessário fazer o aterramento de proteção dos equipamentos (conexão da carcaça condutora à terra) e o aterramento funcional do sistema (conexão do circuito elétrico à terra, através do condutor neutro, no lado CA) (ABNT, 2008).

Por razões de segurança, é importante que as caixas dos equipamentos e as estruturas metálicas de suporte dos módulos fotovoltaicos estejam devidamente conectadas à terra. Todo metal exposto, que possa ser tocado, também deve ser aterrado. O aterramento deve ser feito de forma a permitir a equipotencialização de todos os corpos condutores da instalação.

2.5 Orientação e inclinação do painel fotovoltaico

Para otimizar a eficácia do painel fotovoltaico, deve-se considerar cuidadosamente a orientação e o ângulo de instalação dos módulos fotovoltaicos, aumentando assim a absorção da energia solar. Para garantir o desempenho ideal, é essencial que os módulos estejam posicionados em alinhamento com o equador (Pinho; Gaudino, 2015).

No Brasil, a melhor direção do painel solar fotovoltaico é a voltada para o Norte. Isso tendo em vista que, no hemisfério Sul, o Sol nasce no Leste, sobe se inclinando ao Norte e se põe no Oeste. Para geração máxima de energia, o ângulo de inclinação do gerador fotovoltaico deve ser igual à latitude do local onde o sistema será instalado. No entanto, pequenas variações na inclinação não resultam em grandes mudanças na energia gerada anualmente e a inclinação do gerador fotovoltaico pode estar dentro de 10° em torno da latitude do local (Vinturini, 2020).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O pesquisador necessita estar provido de critérios científicos para a elaboração de um bom trabalho. É necessário conhecer os métodos e suas características para escolher o caminho adequado para a construção do pensamento científico e alcançar os objetivos desejados.

A metodologia compreende uma série de procedimentos metódicos e lógicos que permitem a obtenção segura do objetivo de conhecimento válido e preciso. Ele delinea o curso a ser seguido, fornecendo orientação aos cientistas em seu processo de tomada de decisão (Lakatos; Marconi, 2021).

Para a elaboração do presente trabalho, *a priori*, optou-se pela pesquisa de natureza explicativa e quanto ao procedimento técnico foi a pesquisa bibliográfica. Foi primordial uma eficiente base teórica acerca do tema, obtida através de várias fontes bibliográficas, feita com base em pesquisas artigos científicos, revistas, livros e sites de fonte fidedigna que abordam sobre minigeração distribuída solar fotovoltaica.

Em um primeiro momento foi realizado um estudo teórico sobre minigeração distribuída e sistemas solares fotovoltaicos e *a posteriori* o estudo de caso, nessa segunda etapa, foram levantadas algumas informações técnicas a respeito do uso da energia fotovoltaica em uma Instituição de Ensino localizada no interior do estado de São Paulo, no mês de novembro de 2022.

4 ESTUDO DE CASO

Para a realização do estudo de viabilidade de minigeração distribuída solar fotovoltaica de 88,23 kWp conectado à rede de distribuição foram feitos o dimensionamento do gerador fotovoltaico e do inversor, orientação e inclinação do painel fotovoltaico e diagrama unifilar do sistema fotovoltaico em estudo.

4.1 Dimensionamento do gerador fotovoltaico

A priori é importante ter a compreensão do sistema de compensação regulamentado na região.

No Sistema de Compensação de Energia adotado pelo Brasil pela Lei 14300 quando o sistema fotovoltaico gerar mais energia do que a demandada pela instalação consumidora, a energia excedente é entregue à rede elétrica e o medidor registra essa diferença. o inverso é verdadeiro quando a edificação consome mais energia do que é gerada, fazendo com que, neste caso, o medidor registre o fluxo em seu sentido convencional (Brasil, 2022).

Para dimensionar o gerador fotovoltaico de forma otimizada e eficiente, deve-se conhecer: índice solarimétrico médio, consumo médio anual, dias considerado, consumo médio mensal, consumo médio diário, potência das placas necessárias, quantidade necessária dos módulos. No Quadro 1, estão resumidos os dados do dimensionamento da instituição em estudo.

QUADRO 1. Dados do dimensionamento da escola Alfa

Índice Solarimétrico Médio Local:	5,014	KWh/m ² /dia
Consumo médio anual considerado:	13.272	KWh/mês
Dias do mês considerado:	30	dias
Consumo médio mensal considerado:	$13.272 \times 1.000 = 13.272.000$	Wh/mês
Consumo médio diário considerado:	$13.272 \div 30 = 442.400$	Wh/dia
Potência de placas necessário:	$442.400 \div 5,014 = 88,23$	KW
Quantidade de módulos (510W)	$88,23 \div 510 = 173$	unidades

Fonte: Elaborado a partir dos dados fornecidos Instituição de Ensino

As características dos módulos escolhidos, segundo seu *datasheet* são: modelo/fabricante: TSM-DE 18M(II) 510W/Trina; potência max. de saída (Pmax) = 510W; eficiência (n) = 21,2%; tensão em Pmax = 43,2Vcc; tensão circuito aberto = 52,1Vcc; corrente em Pmax = 11,81A Corrente em CC de 12,42 A; máxima tensão de associação = 1500Vcc; fusível máx. em série = 20^a; dimensões = 2102x1040x35mm.

4.2 Dimensionamento do inversor

O dimensionamento do inversor depende da potência do painel fotovoltaico, da tecnologia e características elétricas do módulo escolhido para compor o gerador. O planejamento do sistema deve ser realizado de maneira que o inversor não trabalhe por muito tempo em potências abaixo da nominal nem que seja acima da nominal.

A escolha do inversor é realizada de acordo com as especificações do sistema ao qual está conectado. A potência máxima do inversor deve ser igual ou superior à potência da demanda. Também deve-se atentar a capacidade de sobrecorrente. Pode-se então aplicar a Equação (1):

$$0,7 \times PSF < P_{Inv DC} < 1,2 \times PSF \quad (1)$$

Onde:

PSF = Potência do Sistema Fotovoltaico

P_{Inv DC} = Potência do inversor

Sendo assim,

$$0,7 \times 88,23 < P_{Inv DC} < 1,2 \times 88,23$$

$$61,76KW < P_{Inv DC} < 105,87KW$$

Portanto o inversor escolhido foi de 90KW. Suas características são:

- a) modelo/fabricante - MAC 60KTL3-X LV / Growatt;
- b) potência de entrada (CC) - 90KW;
- c) Potência de saída (CA) - 60kW;
- d) eficiência Máx. - 98,8%;
- e) tensão de entrada máxima - 1100V;
- f) tensão de entrada em P_{max} - 200 à 1000V_{cc};
- g) corrente máx. de entrada - 50,0 A;
- h) tensão de saída - 3Φ 380 Vca 50/60Hz;
- i) corrente máx. de saída - 96,6 A;
- j) IP: 65;
- k) temp. de operação - -25 °C...60 °C;
- l) umidade relativa - até 100% - s/ condensação.

O inversor sincroniza o sistema fotovoltaico com a rede, monitora tensão e a frequência da rede, normalmente possui proteção anti-ilhamento e possui proteção galvânica. Tendo essas características, não será necessária a instalação de relé de proteção para ilhamento, falhas de tensão e frequência, nem relé de sincronismo.

4.3 Orientação e inclinação do painel fotovoltaico

O local de instalação do sistema fotovoltaico em estudo foi orientado para o Norte, onde se tem o melhor aproveitamento da captação de energia luminosa.

4.4 Diagrama unifilar do sistema fotovoltaico em estudo

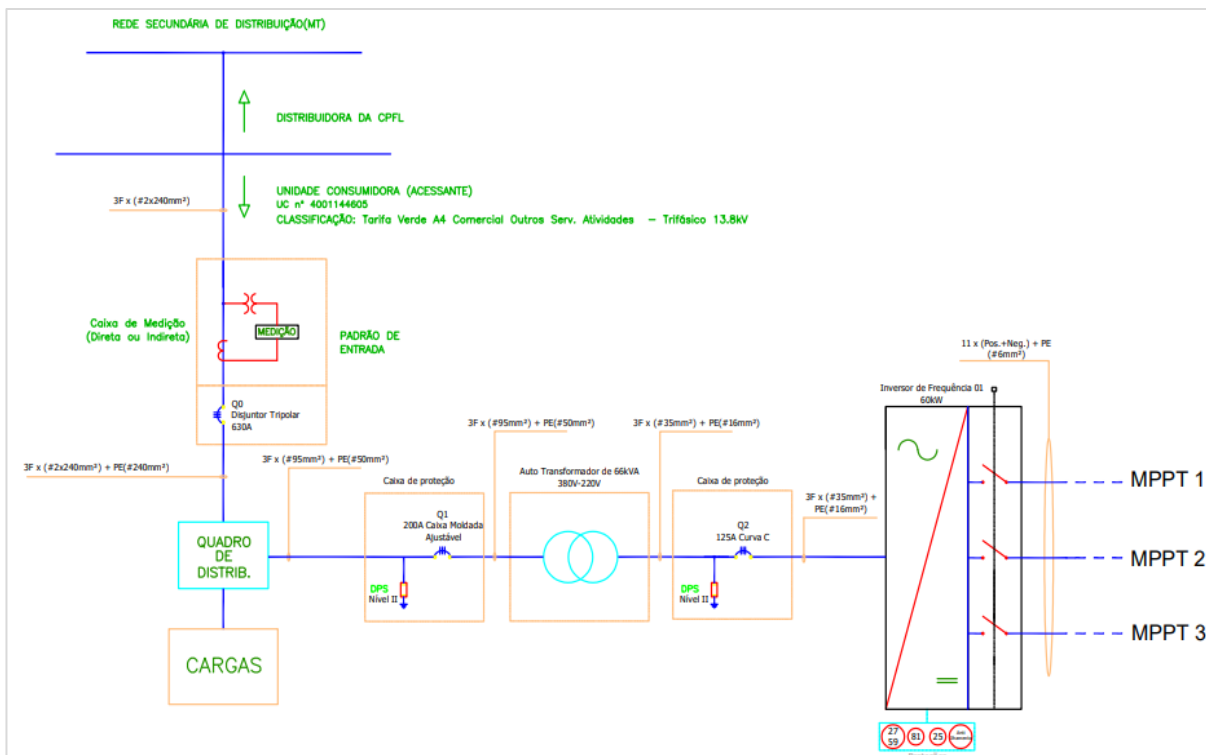
Com base na NBR 5410 que determina a bitola adequada para os condutores em função do comprimento do ramal, da tensão nominal e do nível de perdas pretendido, nas instalações de sistemas fotovoltaicos, utilizaram-se condutores de cobre, os parâmetros reais a serem aplicados para a fiação utilizada devem ser obtidos na documentação do respectivo fabricante (ABNT, 2008).

O StringBox, quadro de proteção e isolamento para o lado CC indispensável para instalações fotovoltaicas conectadas à rede com inversores centrais, foi realizada a proteção e isolamento do lado CC em sistemas Grid-Tie que incluiu fusíveis, chave seccionadora, DPS e caixa IP65. O quadro de proteção e isolamento com componentes desenvolvidos especificamente para aplicações fotovoltaicas, permitiu uma instalação com desempenho e segurança superiores.

O DPS proporcionou a proteção da instalação e dos módulos fotovoltaicos contra descargas atmosféricas com tensão nominal de 1000V e corrente de descarga máxima de 40kA por polo e permitiu a visualização da vida útil na parte frontal ou através de contato auxiliar.

A base fusível incluiu 4 fusíveis com corrente nominal de 10A e tensão máxima de 1000Vcc, desenvolvidos especificamente para aplicações fotovoltaicas (1 para cada polo dos *Strings*). A Figura 1 demonstra o diagrama unifilar.

FIGURA 1 - Diagrama unifilar



Fonte: Dados fornecidos pela Instituição de Ensino

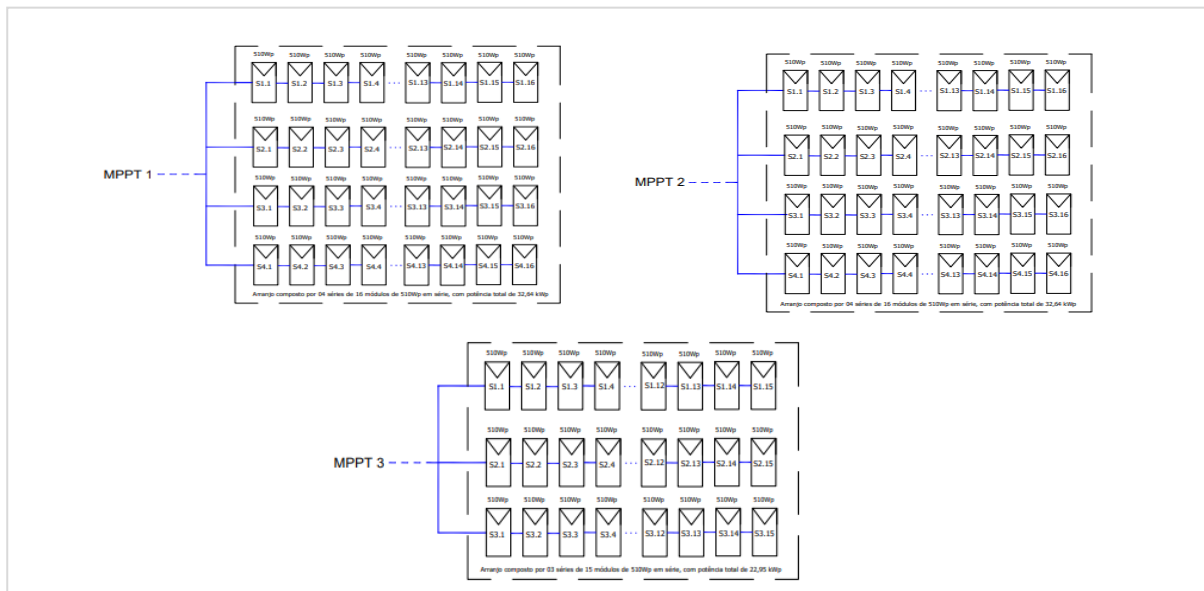
Observa-se na Figura 1 o diagrama unifilar com o arranjo fotovoltaico, dispositivos de proteção contra surto elétrico, chaves seccionadoras, disjuntores, seção dos cabos elétricos e todo detalhamento do projeto.

As características do arranjo fotovoltaico e do inversor, em estudo são:

- potência max. de saída (P_{max}) = 88,23 kW;
- composição = 8 strings de 16 módulos em série de 510 Wp e 3 strings de 15 módulos em série de 510 Wp;
- tensão em P_{max} (MPPT 1 e 2) = 691,2 Vcc;
- tensão circuito aberto (MPPT 1 e 2) = 833,6 Vcc;
- corrente em P_{max} (MPPT 1 e 2) = 47,24 A;
- corrente em CC (MPPT 1 e 2) = 49,68 A;
- tensão em P_{max} (MPPT 3) = 648,0 Vcc;
- tensão circuito aberto (MPPT 3) = 781,5 Vcc;
- corrente em P_{max} (MPPT 3) = 35,43 A;
- corrente em CC (MPPT 3) = 37,262 A;
- potência total do sistema = $173 \times 510Wp = 88,23kWp$;
- área de ocupação total = 346,2m².

A Figura 2 demonstra o arranjo fotovoltaico elaborado.

FIGURA 2 - Arranjo fotovoltaico



Fonte: Dados fornecidos pela Instituição de Ensino

Segundo a Norma Técnica GED 15303 deverá ser instalada de forma permanente na tampa da caixa de medição do padrão de entrada ou cabine primária da unidade consumidora placa de advertência com dimensões de 13x13mm, confeccionada em aço inoxidável ou alumínio anodizado com a inscrição Cuidado – risco de choque elétrico – geração própria”, conforme Anexo C da GED 15.303 e (CPFL, 2022, p. 45).

4.5 Análise de viabilidade

O projeto foi dimensionado para um consumo anual de 13.272KWh/mês, composto por 173 módulos de 510W, 1 inversor Growatt de potência de entrada (CC) de 90KW. Com todos os equipamentos, materiais e mão de obra, o custo do projeto saiu em R\$ 382.688,54.

Analisando o valor da fatura da escola, com o sistema fotovoltaico desligado, tem-se uma conta de R\$ 15.612,45. Com um rendimento mensal aproximado de R\$ 5.486,35, dados fornecidos pela Instituição de Ensino, obtém-se um valor de R\$ 10.126,00, que é a diferença entre o valor da fatura de energia e o valor do rendimento mensal. Assim, o valor do projeto dividido por essa diferença permite que se mensure o tempo em que é pago todo o empreendimento conforme Equação (2).

$$382.688,54 \div 10.126,00 = 37,8 \text{ meses} \quad (2)$$

Portanto, o empreendimento é pago em 37,8 meses, equivalente a 3 anos e 1 mês. Tornando o projeto viável, suprimindo as necessidades no qual foi projetado e com um retorno de investimento rápido.

5 CONCLUSÃO

A definição de energia solar é associada à energia fotovoltaica, tecnologia que utiliza a luz do Sol como fonte de energia para gerar eletricidade e, portanto, possui a vantagem de ser uma energia gratuita, renovável, alternativa e limpa, apesar da desvantagem de seu alto custo inicial.

Sob a óptica ambiental, a energia solar é sustentável, não polui, é limpa, silenciosa, não degradando grandes áreas e é uma forma de energia renovável. Em país tropical como no Brasil a energia solar é viável praticamente em todo território, além de ser excelente para lugares remotos ou de difícil acesso. Considera-se também, que Lei 14300 permite ao consumidor residencial que seja utilizado o sistema de compensação de crédito de energia elétrica de micro e minigeração distribuída. Suas desvantagens são o alto custo de aquisição (custo que se retorna em pouco tempo), não gerar energia à noite e falta de incentivos no Brasil.

No estudo de caso apresentado foi dimensionada uma instalação fotovoltaica para atender a demanda de uma escola localizada na cidade de Penápolis/SP. Os dimensionamentos resultaram numa instalação de 173 módulos fotovoltaicos de 510W, gerando 88,23kWp, arranjados em uma composição de 8 *strings* de 16 módulos em série de 510 Wp e 3 *strings* de 15 módulos em série de 510 Wp, utilizando o inversor MAC 60KTL3-X LV da Growatt.

O projeto teve um custo de R\$ 382.688,54, contando com equipamentos, mão de obra e materiais. O retorno do investimento será de aproximadamente 3 anos, tempo esse que torna o projeto viável e vantajoso. Para os próximos 25 anos, que equivale a vida útil de um módulo, ele continua gerando, operando com uma eficiência mínima de 80%, oferecendo ainda uma grande economia.

Conclui-se, portanto, que a instalação do sistema fotovoltaico é viável, havendo um retorno econômico rápido quando comparado com a sua vida útil, é uma fonte de energia limpa, renovável e apresenta uma manutenção fácil.

6 REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: 30.09.2004, corrigida em 17.3.2008.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-1 - Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro: 22.05.2015, corrigida em 2.7.2018.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Regras e Procedimentos de Distribuição (Prodist). 8/2/2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/prodisdist>>. Acesso em 15 out. 2022.

BRASIL. Lei 14300 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); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília (DF), 07.01.2022.

CARI, E. P. T. **Introdução ao sistema fotovoltaico**. São Carlos: Departamento de Engenharia Elétrica e da Computação da Universidade de São Carlos, 2020

COLARES, M. V. R. **Estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos off-grid**. 2022. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia de Processos) – Universidade Federal do Pará, Belém.

CPFL. COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. Instrução Técnica GED 15303 Conexão de Micro e Minigeração Distribuída sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Campinas: 6/7/2022

CRESESB. CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. Energia Solar Fotovoltaica. 11/6/2008. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321>. Acesso em 15 mar. 2024.

FELIX, T. Brasil fica em 6º lugar na geração de energia solar mundial. 10/04/2024. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/brasil-fica-em-6o-lugar-na-geracao-de-energia-solar-mundial/>>. Acesso em 22 jun. 2024.

FERREIRA, R.; SILVA FILHO, P; C. Energia solar FV: geração de energia limpa. In: XI CONNEPI. 6 a 9. dez. 2016. Maceió. **Anais...** Maceió. AL, 2016.

FREITAS, C. B. B. **Estudo de viabilidade da implementação de um sistema de geração solar fotovoltaica on-grid em uma indústria**. 2023 Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Cabo de Santo Agostinho

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

LIMA, A. A. *et al.* Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. **Rev. Bras. Ensino Fis.** v. 42, 2020.

MELO, A. O. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede on grid e viabilidade econômica para atender a demanda de uma escola da rede pública no município de Capanema-PA.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Capanema.

NASCIMENTO, C. A. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica.** 2004. Monografia (Especialização em Fontes Alternativas de Energia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

LIMA NETA, I. F. **Políticas públicas de incentivo à energia solar: estudo de caso do programa Palmas Solar em Palmas -TO.** 2021. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) - Universidade Federal do Tocantins, Tocantins.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: CRESESB, 2015.

PORTAL SOLAR. Energia Solar no Brasil. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil.html>>. Acesso em: 20 mar. 2024a.

RIBEIRO, C.A.C. **Estudo da viabilidade de células fotovoltaicas aplicadas em placas solares para uma residência.** 2024. Monografia (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

SILVA, B. D. P., RUBBO, P. N. R.; RAMPINELLI, G. A. Análise do desempenho de sistemas fotovoltaicos fixos e com rastreador solar. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR. 31 a 3. mar/abril. 2014. Recife. **Anais...** Recife, PE, 2014.

VINTURINI, M. Entenda as especificações básicas dos componentes da string box. 2020. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/entenda-as-especificacoes-basicas-string-box/#:~:text=Os%20sistemas%20fotovoltaicos%20est%C3%A3o%20inclusos,parte%20CC%20do%20sistema%20fotovoltaico>>. Acesso em: 20 jun. 2024.