

Viabilidade técnica e financeira do sistema fotovoltaico na construção civil

**Juliana Fátima Ribeiro¹, Larissa de Fátima Silva¹, Marcela Amanda Evangelista¹, Milena Daiany Santos
Morais¹, Victor Ferraz de Oliveira¹**

(jufribeiro@hotmail.com, larissasilvasilva1995@gmail.com, marcelaamanda116@gmail.com, milenadaiany9@gmail.com e
victorfeoliveira45@gmail.com)

Professora orientadora: Laísa Cristina Carvalho

Coordenação de curso de Engenharia Civil

Resumo

O presente artigo tem como objetivo realizar um estudo comparativo apresentando a viabilidade técnica e financeira da instalação de painéis fotovoltaicos no telhado ou em solo, mostrando as especificações de cada uma delas, trazendo dados quanti-qualitativos sobre a utilização de uma fonte de energia limpa e inesgotável como alternativa sustentável para contribuir com o suprimento da demanda energética no país, mostrando suas vantagens ao longo do tempo. Este artigo descreve os métodos utilizados para comparar a viabilidade técnica da instalação de uma usina fotovoltaica em telhados com diferentes materiais e a instalação de uma usina fotovoltaica no solo. Nele são apresentados os cálculos de dimensionamento dos painéis, sua aplicação no software para garantir o melhor aproveitamento da geração e os custos considerados nas diferentes estruturas utilizadas para cada caso. Por fim, obteve-se que a melhor viabilidade técnica e o menor custo de instalação do sistema fotovoltaico são quando o sistema é instalado no telhado ao invés do solo.

Palavras chaves: Energias renováveis, Sistema fotovoltaico, Viabilidade, Custo.

1. Introdução

Com o aumento da população mundial fica evidente a necessidade constante e crescente da utilização de eletricidade. Existem diversos métodos para obtenção de energia elétrica, porém é importante analisar questões como o esgotamento de recursos naturais, emissão de poluentes e eficiência de cada método, para assim determinar o método mais vantajoso para a sociedade (Nascimento, 2004).

A principal forma de obtenção de energia no Brasil é através das usinas hidrelétricas, que é considerada limpa por seus defensores, mas que gera impactos ambientais e socioeconômicos para sua construção, devido a área que necessita ser alagada (Andrade e

Mattei, 2013). Além disso, estas usinas não são capazes de suprir toda a demanda do país, principalmente nos períodos de estiagem, já que dependem dos níveis de água acumulados nos reservatórios.

Para completar o consumo nacional, muitas vezes são utilizadas as termelétricas, nas quais a energia é obtida por meio da queima de materiais que possam gerar calor. Neste processo, são emitidos gases poluentes na atmosfera, além do custo ser elevado, o que impacta diretamente nos consumidores.

Surge como opção para o cenário atual, observando a precisão de uma fonte sustentável e eficiente, a energia solar. Onde através do efeito fotovoltaico é possível transformar a luz diretamente em eletricidade. O sol pode ser considerado recurso inesgotável e o nosso país encontra-se em uma região privilegiada onde o nível de irradiação solar é tão alto que no local menos ensolarado, é possível gerar mais energia solar do que no local mais ensolarado da Alemanha. (Pereira et al., 2017).

Dentre as vantagens dessa fonte de geração elétrica, destaca-se também a facilidade com que pode ser integrada as construções para geração de energia localmente, dispensando o uso de linhas de transmissão (IMHOFF, 2007). Com isso é possível levar eletricidade a áreas mais isoladas gastando menos.

A desvantagem é o que dificulta a dissipação desse método de geração de energia é o elevado custo de investimento inicial. Porém, a 2ª edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar traz um dado animador para o consumidor de que em dez anos o preço dos módulos solares fotovoltaicos caiu em mais de dez vezes.

Este artigo tem como objetivo realizar um estudo comparativo apresentando a viabilidade técnica e financeira da instalação de painéis fotovoltaicos no telhado ou em solo, mostrando as especificações de cada uma delas, trazendo dados quanti-qualitativos sobre a utilização de uma fonte de energia limpa e inesgotável como alternativa sustentável para contribuir com o suprimento da demanda energética no país, mostrando suas vantagens ao longo do tempo.

2. Referencial teórico

2.1 Origem do efeito fotovoltaico

A sociedade ao decorrer dos anos está cada vez mais dependente da energia elétrica, sua utilização é indispensável no dia a dia. Porém, essa fonte de energia traz consigo uma grande preocupação em relação ao aquecimento global devido a queima de combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral e gás natural), o que implica na geração de gases poluentes.

O sol é a estrela que gera calor e luz fundamentais para manutenção da vida na Terra. Sua energia vem da fusão nuclear dos átomos de hidrogênio onde se fundem mediante uma cadeia de reações que gera átomos de hélio e libera energia solar difundida pelo espaço por radiação eletromagnética. Isso o torna uma energia renovável, pois ele está disponível a cada novo dia. (Simepe Energia, 2021).

Em 1839, Edmond Becquerel realizava experimentos na oficina de seu pai quando verificou que a exposição à luz de elétrodos de platina dava origem ao efeito fotovoltaico que consiste em um surgimento de tensão elétrica em um material semicondutor devido a liberação de elétrons de sua superfície quando exposto a luz.

Anos depois foi descoberto que o selênio também convertia luz em eletricidade. Em 1883, Charles Fritts criou a primeira célula solar feita de selênio revestida de ouro, marcando o início da tecnologia fotovoltaica. Somente em 1905 o efeito fotoelétrico foi compreendido pelo aprimoramento através de estudos de Albert Einstein que apontaram a emissão de elétrons de uma superfície em interação com a onda eletromagnética, visto que a descoberta, na verdade, foi feita pelo físico Heinrich Hertz em 1887. No ano de 1932 foi descoberto por Audobert e Stora o efeito fotovoltaico no seleneto de cádmio, material utilizado nos dias atuais. (Quantum Engenharia, 2020).

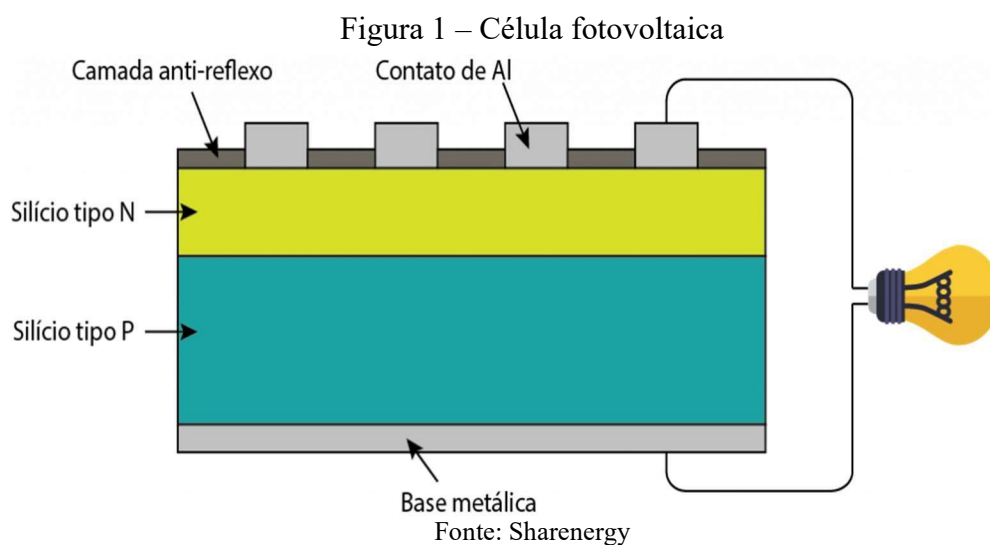
O próximo grande passo no estudo dos painéis fotovoltaicos ocorreu em 1954 pelo químico Calvin Fuller, quando produziu pela primeira vez uma célula solar de silício por meio da elaboração da técnica de dopagem que é um processo químico no qual átomos estranhos são introduzidos na estrutura de uma substância. Esse acontecimento deu origem à era moderna da história da energia solar.

A primeira aplicação de painel solar foi em 1958 quando o satélite Vanguard I foi lançado no espaço com um painel de 1 W para alimentar seu rádio. Consequentemente, foram instalados os primeiros sistemas fotovoltaicos em estabelecimentos e residências, e até mesmo em navios, ônibus e aviões. (Quantum Engenharia, 2020).

2.2 Células fotovoltaicas

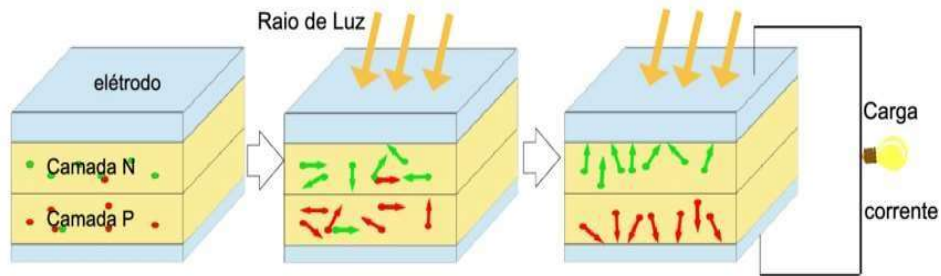
A energia solar é uma fonte limpa, renovável e muito mais econômica que outras fontes de luz elétrica. A célula fotovoltaica é a responsável por gerar energia solar, sem ela não é possível reverter a radiação do sol em eletricidade.

Todas as células solares fotovoltaicas são feitas a partir de um material semicondutor. Existem vários tipos que fazem essa transformação, sendo o mais popular e utilizado, o silício. De acordo com (Nascimento, 2004), o silício quando puro não possui elétrons livres, sendo considerado mau condutor elétrico. Para torná-lo um material com elétrons livres (silício tipo N), é necessário que ocorra o processo de dopagem, no qual é acrescentada uma porcentagem de outros elementos, nesse caso o fósforo. Repete-se a dopagem, mas dessa vez com Boro para se obter o material com falta de elétrons (silício tipo P). As células solares são formadas por uma camada de cada tipo de material, como ilustra a figura abaixo:



Ainda segundo o autor, esses elementos enquanto separados são eletricamente neutros, mas quando unidos produzem um campo elétrico. A partir do momento em que a célula fotovoltaica recebe luz, há movimentação dos fótons, que ao se chocarem aos elétrons os transformam em condutores, que por sua vez irão passar da camada “p” para camada “n”. É necessário que haja um condutor externo ligando as duas camadas da célula, por meio dele será gerado um fluxo de elétrons (corrente elétrica).

Figura 2 – Efeito fotovoltaico na junção P-N



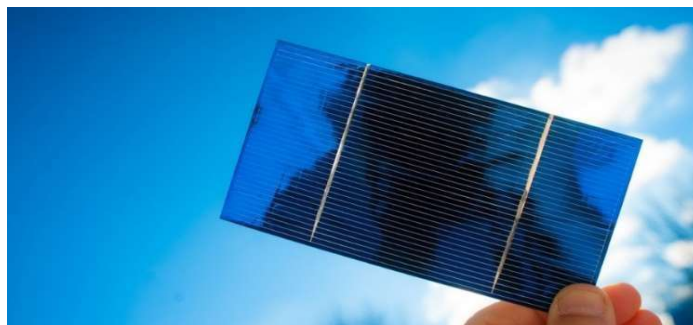
Fonte: Adaptado de Quaschnig (2004)

Existem três tipos de células provenientes do silício:

- Células monocristalinas: são a primeira geração e apresentam mais eficiência que as outras células, pois são produzidas a partir de um único cristal de silício, consequentemente possuindo alto grau de pureza e tornando sua eficácia elétrica elevada;
- Células policristalinas: têm um custo mais baixo de produção em relação a células monocristalinas por precisarem de menos energia para sua fabricação através da fundição dos cristais em blocos, formando vários cristais;
- Células de silício amorfo: são obtidas mediante a deposição de camadas bastante finas de silício sobre superfícies de metal ou vidro, o que implica em sua baixa eficiência.

A ligação dessas células, em série ou paralelo, forma os módulos e a partir da junção destes tem-se os módulos solares ou painéis solares, responsáveis em converter a luz do sol em energia elétrica, que se dá por meio da coleta de fótons da luz solar. Esses painéis dispõem de mínima manutenção, podendo durar até 25 anos ou mais (dependendo do fabricante) e não prejudicam o meio ambiente.

Figura 3 – Célula solar fotovoltaica



Fonte: Portal Solar

2.3 Painéis solares fotovoltaicos

O conjunto das células solares constitui o módulo fotovoltaico, chamado também de módulo solar ou painel fotovoltaico. De acordo com (Medeiros, 2021) abaixo serão descritos seus tipos, vantagens e desvantagens.

2.3.1 Painel solar monocristalino

Vantagens: apresenta alta eficiência dentre todos os tipos de painéis, entre 15% e 22%; ocupa menos espaço pela sua grande eficácia; apesar de sua garantia ser de 25 anos pode durar até mais de 30.

Desvantagens: é mais caro por ser feito de um material ultra puro; a produção de silício monocristalino gera grandes lingotes cilíndricos, onde quatro lados são cortados resultando nas lâminas de silício, o que deriva em um não aproveitamento significativo do silício naquela célula, tornando-o necessário ser reciclado.

2.3.2 Painel solar policristalino

Vantagens: seu custo e quantidade de sobra de silício é menor em comparação ao monocristalino; sua garantia também é de 25 anos e pode durar mais de 30.

Desvantagens quanto ao monocristalino: sua eficiência é de 14% a 20% devido sua impureza; é necessária uma área maior para geração de mesma quantidade de energia produzida por painéis solares monocristalinos.

2.3.3 Painel solar de silício amorfo

Vantagens: possibilidade de aplicação em larga escala por meio de uma técnica chamada “empilhamento” que consiste na sobreposição de várias camadas de silício amorfo resultando num aumento de eficiência elétrica; seu custo é bem mais baixo pela quantidade menor de silício utilizada em sua fabricação.

Desvantagens: apresenta um alto grau de desordem dos átomos, implicando em sua baixa eficiência que varia entre 6% a 9%; esse material sofre degradação no começo de seu uso, comprometendo sua vida útil.

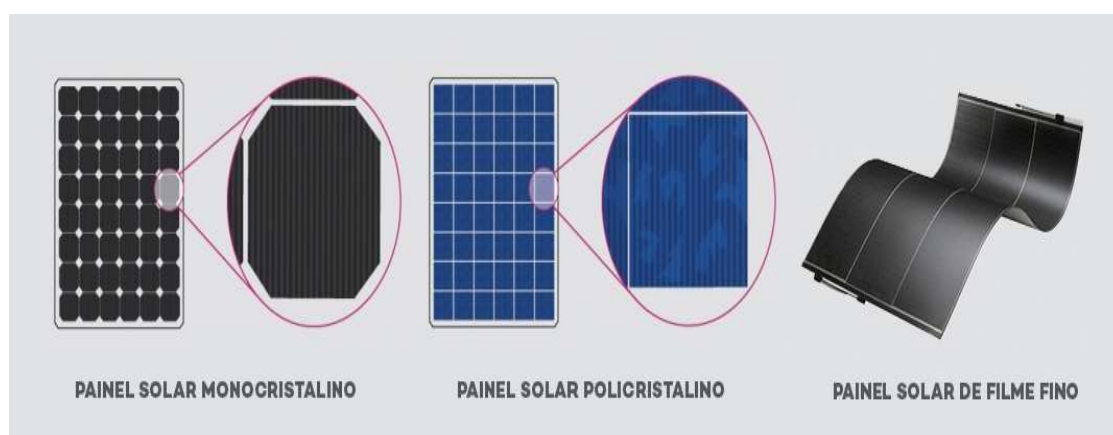
2.3.4 Painéis solares de filme fino

Existem também os painéis solares de filme fino, onde é depositado uma ou várias camadas finas de material fotovoltaico sobre um substrato:

Vantagens: sua produção é mais barata quando comparada as células solares de base cristalinas; sombreamento e alta temperatura não impactam tanto em seu desempenho.

Desvantagens: não são muito utilizados, pois exigem uma grande área de espaço; se degradam mais rápido do que os outros painéis solares; tem uma garantia mais curta.

Figura 4 – Exemplos de painéis fotovoltaicos



Fonte: NeoSolar

2.4 Tipos de sistemas

As instalações dos painéis fotovoltaicos, são executadas de acordo com a demanda de cada cliente, levando em consideração a dimensão do projeto, sua viabilidade, local para execução, podendo ser tanto no solo, quanto no telhado.

Sistema no telhado – essa instalação geralmente é a mais utilizada, levando em consideração que é um lugar disponível e que não interfere no espaço livre de uma construção.

É possível criar e adaptar o projeto, de acordo com a infraestrutura onde será instalado o sistema fotovoltaico. Sua manutenção não é algo simples e quando o telhado não comporta a quantidade de módulos exigidos, é preciso verificar uma outra possibilidade (Jamil et al., 2017).

A orientação dos módulos geralmente se dá para leste e oeste, não sendo recomendado mudar a sua orientação, pois o equipamento se torna mais instável. É importante também, verificar sempre as possíveis intervenções, como sombras, árvores e chaminés.

Sistema no solo – o sistema no solo é uma opção quando o telhado não comporta um projeto, geralmente é instalado nas zonas rurais pois o espaço disponível é maior (Jamil et al., 2017). Sua orientação sempre será para o norte, que o torna melhor em questão de captação da luz solar, sendo posicionada à um ângulo de 22° para melhor aproveitamento. Sua manutenção é mais simples, mas o seu custo de instalação é mais elevado em razão da estrutura que precisa construída para o posicionamento dos módulos, levando em conta a mão de obra e o custo com os materiais.

2.5 Distribuição

O sistema fotovoltaico é composto por vários componentes:

- 1- Paineis solares: captam a irradiação do sol que é transformada em eletricidade pelas células fotovoltaicas;
- 2- Controlador de cargas: equipamento que preserva a vida útil das baterias inertes evitando que sofram sobrecargas ou descargas repentinas. Ele gera uma corrente de alimentação maior que a descarga automática do sistema e evita danos de superaquecimento;
- 3- Bateria: armazena a energia solar;
- 4- Inversor solar: responsável por converter a corrente elétrica contínua em alternada.

Há também os materiais elétricos que auxiliam na proteção e conservação do sistema, e as estruturas de suporte que dão apoio e sustentação aos módulos fotovoltaicos. (Oca Solar Energia, 2020).

Figura 5 – Sistema fotovoltaico



Fonte – NeoSolar (2020)

2.5.1 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede (on-grid)

Os sistemas denominados fotovoltaicos conectados à rede (SFCR), ou como são chamados on-grid, são sistemas interligados com a rede de distribuição de energia elétrica, ou seja, quando a energia elétrica da rede de distribuição é interrompida, o sistema se desliga. A instalação deste sistema é mais indicada nas áreas onde já existe a ligação da rede de distribuição.

O funcionamento de um sistema on-grid, gera como consequência a redução do consumo da energia elétrica fornecida pela concessionária de energia, pois o sistema on-grid gera uma compensação de energia elétrica, que é regido pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/12, onde todo o excesso de energia ativa gerada é adicionado na rede da concessionária, convertendo para o consumidor um crédito que poderá ser abatido, num período de até 60 meses. Segundo a ANEEL (2015), os sistemas on-grid são divididos em duas categorias, microgeração distribuída e minigeração distribuída.

1ª - Microgeração distribuída de acordo com a Resolução Normativa 687/2015: é a central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 W e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

2ª - Minigeração distribuída de acordo com a Resolução Normativa 687/2015: é a 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 cogeração qualificada, conforme

regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

2.5.1.1. Componentes de um sistema fotovoltaico conectado à rede (on-grid)

O sistema é formado por um conjunto de módulos fotovoltaicos, por um inversor interativo, conhecido como Grid-tied Interactive Inverter, pelo medidor de energia bidirecional, além de um sistema de interação conhecido como BOS (Balance of System), que são estruturas de metais que fixam os módulos fotovoltaicos em telhados e os componentes elétricos de proteção (ROSA, 2017).

Figura 6 – Componentes de um sistema fotovoltaico on-grid



Fonte: ALFA Soluções em Engenharia (2022)

2.5.1.2. Vantagens e desvantagens dos sistemas fotovoltaicos on-grid

Segundo ROSA (2017), a principal vantagem “está na utilização da rede da concessionária elétrica como o acumulador de energia (banco de baterias) em forma de créditos energéticos”.

Segundo ROSA (2017), a principal desvantagem “é a não utilização de um acumulador de energia com banco de baterias, como não há armazenamento de energia, e devido à forma como os Inversores Interativos devem se comportar no caso de falta de energia na rede (em caso de apagão), a unidade consumidora (o imóvel) que possui apenas o sistema on-grid ficará sem energia”.

São ainda vantagens e desvantagens do sistema on-grid:

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens do sistema on-grid:

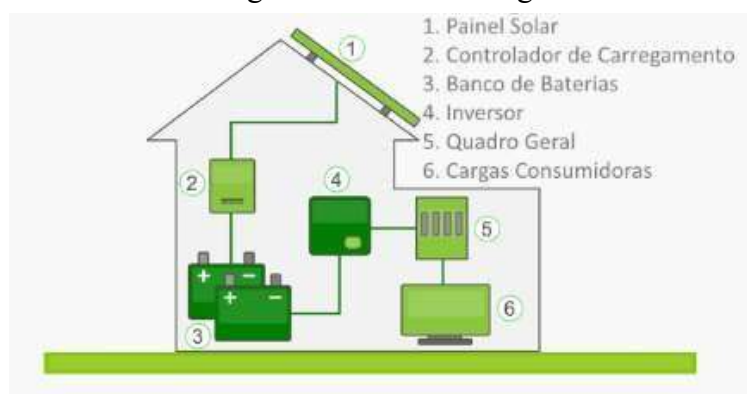
Vantagens do sistema on-grid	Desvantagens do sistema on-grid
• A utilização em menor quantidade de componentes para sua funcionalidade;	• Pagamento de taxa mínima para a concessionária de energia elétrica devido à disponibilidade;
• Mais eficiente que os sistemas off-grid;	• Se o consumo é maior que a geração, não haverá créditos para o consumidor.
• Não utilizam do uso de baterias ou de controladores de cargas;	
• Gera ao consumidor crédito que podem ser utilizados em até 60 meses.	

Fonte: Autoria própria (2022)

2.5.2 Sistemas fotovoltaicos autônomos (off-grid)

O sistema fotovoltaico autônomo (off-grid), segundo OLIVEIRA (2019) “é aquele desconectado da rede, onde a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos se armazena em um banco de baterias para uso posterior”. Os componentes deste sistema são: os painéis fotovoltaicos, controladores de carga, baterias e inversores de frequência, conforme figura.

Figura 7 – Sistema off-grid



Fonte: ALFA Soluções em Engenharia (2022)

2.5.2.1 As vantagens e desvantagens dos sistemas off-grid são:

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens do sistema off-grid:

Vantagens do sistema off-grid	Desvantagens do sistema off-grid
• Energia disponível nas regiões sem ligação com alguma rede elétrica de distribuição;	• Utiliza-se de mais componentes como, por exemplo, o uso de baterias e de controladores de cargas;
• O não pagamento de conta de energia;	• O valor é mais elevado devido à necessidade do uso de banco de baterias;
• A energia se torna independente, pois o sistema armazena a energia utilizando-se do banco de baterias.	• O tempo de vida útil das baterias é baixo;
	• É necessária uma área maior para a instalação, pelo fato de se utilizar do banco de baterias.

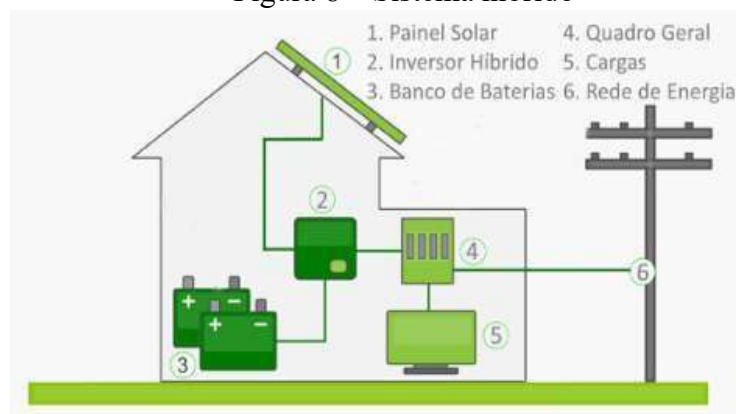
Fonte: Autoria própria (2022)

2.5.3 Sistemas fotovoltaicos híbridos

Uma das soluções mais completas no momento, o sistema híbrido é quando a energia solar excedente carrega somente o banco de baterias e inutiliza a necessidade das cargas, não tendo assim utilização de energia da rede concessionária, pois o inversor faz todo trabalho de gerenciamento do fluxo de potência. (ALFA ENGENHARIA, 2022).

A grande vantagem do gerador fotovoltaico híbrido é que o consumidor não ficará sem energia caso a rede da concessionária fique off-line, nesse caso o inversor irá processar a energia acumulada nas baterias. A desvantagem desse sistema é seu custo, o uso de espaço para instalação do banco de baterias e a instalação é mais complexa.

Figura 8 – Sistema híbrido



Fonte: ALFA Soluções em Engenharia (2022)

2.6 Geração e transmissão

De acordo com a 2ª edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar, possuímos a geração fotovoltaica centralizada e a geração distribuída. A primeira são as usinas de grande porte, onde normalmente os painéis são instalados sobre o solo, nestas são exigidos gastos adicionais com os sistemas de transmissão. São mais presentes nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e também no Sudeste do Brasil. Para o futuro, é esperado que essas usinas sejam instaladas nas demais regiões do país.

Já a geração distribuída é tipicamente urbana e integrada às edificações e é gerada já no local onde é consumida, o que pode contribuir para redução de perdas no Sistema Interligado Nacional (SIN), sem a necessidade de sistemas de transmissão ou distribuição de energia. Esta já é espalhada por todo território nacional e também tem tendência a se dissipar cada vez mais. Em (IMHOFF, 2007) vemos que esse sistema pode ser uma alternativa para levar energia a comunidades isoladas.

Em todos estes casos, o conhecimento da irradiação solar incidente no plano dos painéis solares fotovoltaicos é fundamental para o correto dimensionamento do gerador integrado na edificação (telhado ou fachada) e a correta estimativa da quantidade de energia que o mesmo pode gerar anualmente.

O sistema de energia funciona desde que o sol nasce e cessa quando se põe, atingindo seu potencial máximo às 12h/13h. Os sistemas elétricos devem ser preparados para a intermitência dos sistemas de geração.

Figura 9 – Painéis fotovoltaicos instalados na fachada de uma escola



Fonte: UNIPACS (2018)

Como os sistemas de conversão de energia solar têm baixa eficiência, é necessária a utilização de vários painéis para que captem energia suficiente para que os projetos se tornem economicamente viáveis. (MARQUES, 2014).

Ainda segundo (MARQUES, 2014), a geração de energia depende das condições meteorológicas, onde a chuva e a cobertura das nuvens influenciam diretamente no seu funcionamento, o qual varia de acordo com a região. À noite não há geração de energia, então são usados créditos através das linhas de transmissão, ou outra opção é o uso de baterias, mas não é considerado viável devido ao custo e manutenção desses equipamentos.

De acordo com a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE), as redes de transmissão são o conjunto de cabos e torres responsáveis por levar a energia por longas distâncias das usinas até os centros urbanos. Geralmente estas linhas possuem maiores voltagens, no entanto também há redes de menores voltagens dentro das distribuidoras.

Também fazem parte do sistema de redes de transmissão as subestações que são conectadas aos consumidores ou distribuidoras é onde ocorre o rebaixamento dos níveis de tensão para dezenas de milhares de volts. E nos pontos de conexão com geradores elevam o nível de tensão para centenas de milhares de volts.

Figura 10 – Linhas de transmissão



Fonte: Original Eletricidade (2022)

No nosso país o sistema elétrico compreende o Sistema Interligado Nacional – SIN, abrangendo as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte, e os sistemas isolados (Vieira, 2009). Nas regiões isoladas o atendimento é realizado principalmente por pequenas centrais geradoras.

É possível que o sistema de geração de energia solar centralizada se torne mais competitivo no Sul e Sudeste do país ao longo dos anos, dado a característica de que a distância dos grandes centros de consumo é menor, já que possuem grande concentração de carga do SIN, contendo maior disponibilidade de pontos de conexão à rede sem necessidade de novas linhas de transmissão. (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2017).

2.7 Comercialização e compensação

De acordo com o Portal Solar “A energia solar pode ser vendida de duas formas: por meio de leilões regulamentados pela ANEEL ou no mercado de contratação livre, a partir de usinas solares. Também, é possível “vender” a energia solar gerada pelo seu sistema fotovoltaico para a rede distribuidora, recebendo créditos de energia”. (PORTAL SOLAR, 2022).

As regras de comercialização são determinadas pelo CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica).

Para que ocorra a venda da energia solar gerada, é necessário que o “vendedor” tenha um sistema on-grid e que a produção seja maior que o consumo, desta maneira a energia excedente é passada como forma de empréstimo para a concessionária que retorna o pagamento ao consumidor em forma de créditos de energia no mesmo valor, com validade de até 60 meses, este retorno financeiro pode chegar a até 95% da redução da conta da energia. (PORTAL SOLAR, 2022). A regulamentação deste tipo de “venda” de energia é regida pela Resolução Normativa nº 482, de abril de 2012, criada pela ANEEL.

Os leilões são regulados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que é responsável pela entrega e geração de energia elétrica de todo o Brasil. (PORTAL SOLAR, 2022). Ainda segundo o Portal Solar (2022) “As concessionárias de energia e demais autorizadas da contratação disponibilizam um atendimento totalmente voltado para os leilões, que são realizados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) em delegação com a ANEEL. Os leilões são feitos em diferentes categorias: Vendas, Fontes Alternativas, Excedentes, Estruturante, Energia de Reserva, Compra, Ajuste e outros”.

O mercado livre de energia é um ambiente de contratação livre, ou seja, mais independente, permitindo que a comercialização de energia seja realizada e ao mesmo tempo estimulando a livre concorrência entre os geradores e os produtores, o que baixa o preço da energia elétrica e a torna mais acessível. (PORTAL SOLAR, 2022). Vale lembrar que para vender energia elétrica pelo mercado livre é necessário que o vendedor seja autoprodutor ou gerador de energia associado à CCEE.

No Brasil, segundo a CCEE (2022), existem dois grandes mercados de comercialização de energia, sendo eles: o ambiente de contratação regulada (ACR) composto pelos consumidores cativos, e o ambiente de contratação livre (ACL), composto pelos consumidores livres.

O Consumidor cativo (ACR) segundo o Portal Solar (2022) “é aquele que compra energia diretamente da concessionária de distribuição o qual está eletricamente interligado, essa unidade paga apenas a fatura de energia por mês incluindo os serviços de distribuição e geração de energia. A desvantagem é que as tarifas são reguladas pelo Governo. Por padrão, todo o consumidor é um consumidor cativo”. Já o consumidor livre (ACL) de acordo com o Portal Solar (2022) “é o mesmo que compra energia diretamente dos agentes comercializadores, através de contratos onde são negociados o valor da tarifa, o prazo e o volume, a vantagem

desse modelo é que os valores ficam travados no contrato dando previsibilidade para o consumidor”.

Figura 11 – Consumidor livre x consumidor cativo



Fonte: Portal Solar (2022)

3. Metodologia

Esse item descreve os métodos utilizados para dar início à um projeto realizando o dimensionamento do sistema através do consumo médio anual de energia, identificando assim a geração e a quantidade de módulos necessários. Nele são apresentados os cálculos de dimensionamento dos painéis, sua aplicação no software para garantir o melhor aproveitamento da geração e os custos considerados nas diferentes estruturas utilizadas para cada caso.

3.1 Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos

O consumo médio anual de energia é a razão entre a soma do consumo mensal pela quantidade de meses. Deste modo, foi simulado uma residência unifamiliar com consumo médio anual de 696 kWh/mês. Esses dados são disponibilizados na fatura de energia.

Tabela 1 – Consumo médio anual de energia

Mês	Consumo kWh
Janeiro	722
Fevereiro	733
Março	724
Abril	701
Maio	679
Junho	672
Julho	667
Agosto	661
Setembro	678
Outubro	687
Novembro	704
Dezembro	718
Média (kWh/mês)	696

Fonte: Autoria própria (2022)

Com o consumo médio calculado, é necessário identificar a geração por módulos com o objetivo de determinar a sua quantidade e reduzir a fatura. É possível chegar neste resultado através da fórmula:

$$GM = PP \cdot CP \cdot M \cdot Irr \cdot P$$

Sendo:

GM = Geração por módulos [kWh/dia];

PP = Potência dos módulos [Wp];

CP = Constante de perda [%];

M = Média de dias no mês [mês];

Irr = Irradiação do local de instalação [%];

P = Perda por orientação ou sombreamento [%].

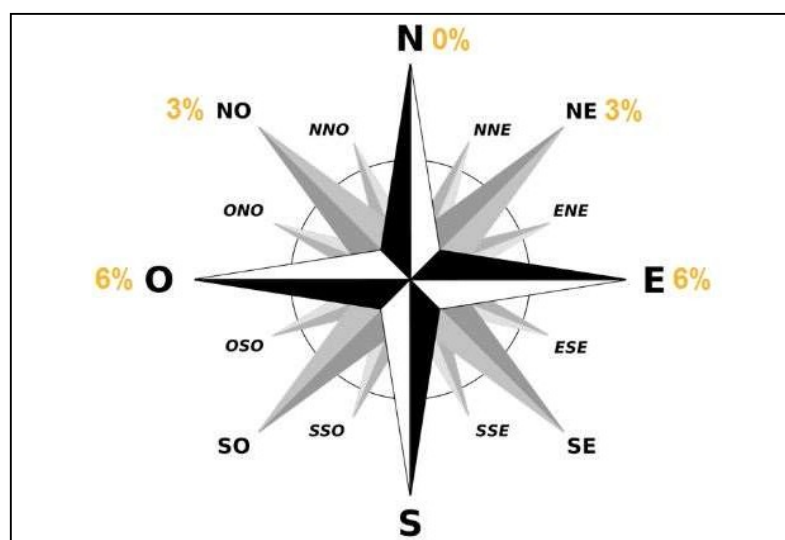
Foram adotados módulos com potência de 445 W da marca Risen Energy, sendo o mais acessível nessa região. Considerando as perdas de energias que podem ser causadas por

mudanças climáticas, poeira e distanciamento dos cabos, a constante de perda estimada foi de 20%.

A irradiação do local de instalação é um valor fornecido pelo Centro de Referência para Energias Solar e Eólicas Sérgio de S. Brito. O CRESESB é uma das ferramentas utilizadas para dimensionar sistemas fotovoltaicos. Essa plataforma é disponível de forma online e possui os dados do programa SunData, que se baseia nas informações do “Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2ª edição” para realizar os cálculos de irradiação no Brasil.

A perda é calculada de acordo com a orientação dos painéis fotovoltaicos instalados, podendo variar de 0 a 6%.

Figura 12 – Rosa dos ventos



Fonte: Brasil Escola (2022)

O inversor é o aparelho responsável por transformar a energia gerada pelos módulos de corrente contínua para corrente alternada. De acordo com o autor, os requisitos do inversor a serem analisados devem ser a forma de onda da carga e a sua eficiência. (Messenger & Ventre, 2010).

A quantidade de painéis por inversor é determinada de acordo com as especificações do fabricante. É realizada uma análise na folha de dados de ambos os equipamentos de modo a colocar a quantidade correta de módulos em cada ponto de máxima potência (MPPT - Maximum Power Point Tracking). É necessário levar em consideração a temperatura da região

para que o módulo não tenha aumento de tensão devido às baixas temperaturas, esse valor é determinado em laboratório e conhecido como Condição de Teste Padrão (Standard Test Conditions – STC). De acordo com a fonte Weather Spark (2022) as temperaturas em Pouso Alegre dificilmente atingem valores menores que 7°C. Para maior margem de segurança, a temperatura mínima utilizada para os cálculos será de 0°C. A quantidade de painéis é calculada por meio do circuito aberto, pois leva em consideração a tensão máxima que o módulo solar pode chegar sob essa temperatura mínima. O cálculo para a tensão de circuito aberto com a temperatura mínima é dado por:

$$Vocmáx = Voc + [Voc \cdot (Temp - STC) \cdot \frac{TcVoc}{100}]$$

Sendo:

Vocmáx = Tensão de circuito aberto de acordo com a temperatura mínima [V];

Voc = Tensão de circuito aberto do módulo [V];

Temp = Temperatura mínima da região [°C];

STC = Condições Padrões de Teste [°C];

TcVoc = Coeficiente de temperatura da tensão de circuito aberto [$\frac{\%}{^{\circ}C}$].

A quantidade de módulos por string é dada por:

$$MódString = \frac{Vinmax}{Vocmáx}$$

Sendo:

MódString = Número de módulos por string [unid];

Vinmax = Tensão de entrada máxima do inversor [V];

Vocmáx = Tensão de circuito aberto [V].

O PVSol é um software muito utilizado por engenheiros para simular a geração de sistemas fotovoltaicos de maneira mais precisa, apresentando várias ferramentas que deixam os

projetos mais confiáveis, além de possibilitar maior velocidade no cálculo de geração fotovoltaica na formação de relatórios.

3.2 Fixação dos módulos

No telhado cerâmico a fixação dos módulos é feita através de um perfil de aço galvanizado com 3 metros, preso nas terças de madeira, possibilitando a fixação de forma simples e ágil. Os módulos são acoplados no perfil de aço com porcas losangulares, terminais finais e terminais intermediários.

No telhado metálico os perfis de aço são cortados com 50 cm de modo a economizar a quantidade, já que são fixados apenas nas ondas mais altas da telha. Os parafusos de fixação podem variar de acordo com a estrutura do telhado, de madeira ou metálica.

O telhado de fibrocimento é o mais frágil em relação aos demais apresentados. Para a fixação dos módulos é necessário criar uma estrutura sobre a telha, para que a mesma não ceda com o peso dos módulos. A estrutura base é feita com perfil de aço galvanizado de 38 milímetros e os módulos são fixados sobre o perfil superior de 19 milímetros, que são colocados a cada 1,30 metros. Elas são fixadas nas terças de madeira com o parafuso de fibrocimento.

Na estrutura de solo é feito uma estaca de concreto para segurar as bases metálicas que apoiam os módulos. O concreto precisa possuir peso suficiente para que a base não se movimente com a ação do vento. Neste caso, o cabeamento é passado de forma subterrânea dentro de corrugados até o local do inversor.

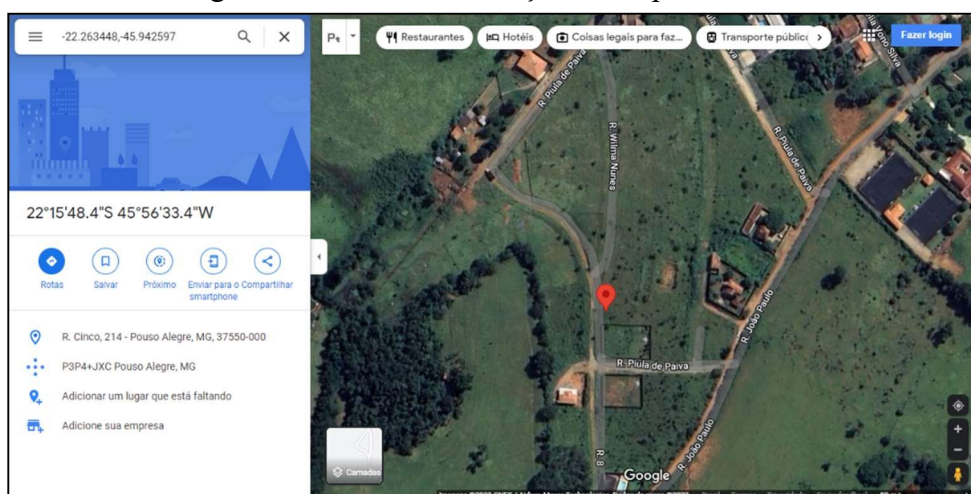
O inversor e os demais componentes de infraestrutura são fixados sobre a parede, mantendo o espaço de ventilação conforme a indicação do fabricante.

4. Resultados e discussões

4.1 Análise de geração

Esta análise foi realizada no Município de Pouso Alegre, Minas Gerais, dado as coordenadas -22.263448, -45.942597. Este terreno foi escolhido apenas para simulação do trabalho.

Imagem 1 – Local da instalação, vista por satélite



Fonte: Google Maps (2022).

Considerando que nosso sistema está na orientação norte e não possui sombreamento, a fórmula será dada por:

$$GM = PP.CP.M.Irr.P$$

$$GM = 445 . 0,8 . \frac{365}{12} . 4,83 . 1,0$$

$$GM = 52.272,19 \text{ ou}$$

$$GM = 52,27 \text{ kWh/mês}$$

A quantidade de módulos é a razão entre o consumo médio mensal e a geração por módulo.

$$QM = \frac{CMM}{GM}$$

$$QM = \frac{696}{52,27}$$

$$QM = 13,31 = 14 \text{ módulos}$$

Conforme os módulos e o inversor escolhidos, a folha de dados apresenta as seguintes informações:

Figura 13 – Datasheet Módulo RSM144-7-445M da Risen Energy

ELECTRICAL DATA (STC)					
Model Number	RSM144-7-435M	RSM144-7-440M	RSM144-7-445M	RSM144-7-450M	RSM144-7-455M
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	435	440	445	450	455
Open Circuit Voltage-Voc(V)	49.40	49.50	49.60	49.70	49.80
Short Circuit Current-Isc(A)	11.20	11.30	11.40	11.50	11.60
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	41.05	41.13	41.25	41.30	41.40
Maximum Power Current-Imp(A)	10.60	10.70	10.80	10.90	11.00
Module Efficiency (%) *	19.7	19.9	20.1	20.4	20.6
STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3. * Module Efficiency (%): Round-off to the nearest number					

Fonte: WEG Solarbox (2022).

Figura 14 – Datasheet Módulo RSM144-7-445M da Risen Energy

TEMPERATURE & MAXIMUM RATINGS	
Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	44°C±2°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.29%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.05%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.37%/°C
Operational Temperature	-40°C~+85°C
Maximum System Voltage	1500VDC
Max Series Fuse Rating	20A
Limiting Reverse Current	20A

Fonte: WEG Solarbox (2022).

Figura 15 – Datasheet Inversor SIW200G M050 W0 da WEG.

Modelo	SIW200G M030 W0	SIW200G M050 W0	SIW200G M060 W0
Potência CC máx. recomendada [W]	3900	6500	7800
Tensão CC máxima [V]	600	600	600
Tensão CC operacional nominal [V]	360	360	360
Faixa de tensão MPPT [V]	80-550	80-550	80-550
Faixa tensão MPPT@ carga máx. [V]	130-550	210-550	250-550
Corrente de entrada máxima [A]	14/14	14/14	14/14
Corrente de curto circuito máxima [A]	18/18	18/18	18/18
Tensão de saída de partida [V]	120	120	120
Nº de rastreadores MPP	2	2	2
Strings por rastreador MPP	1	1	1
Chave CC	Opcional		

Fonte: WEG Solarbox (2022).

O cálculo para a tensão de circuito aberto com a temperatura mínima é dado por:

$$Vocmáx = Voc + [Voc. (Temp - STC). \frac{TcVoc}{100}]$$

$$Vocmáx = Voc + [Voc. (Temp - STC). \frac{TcVoc}{100}]$$

$$Vocmáx = 49,60 + [49,60 . (0 - 25). \frac{-0,29}{100}]$$

$$Vocmáx = 53,20 V$$

A quantidade de módulos por string é dada por:

$$MódString = \frac{Vinmax}{Vocmáx}$$

$$MódString = \frac{600 V}{53,20}$$

$$MódString = 11,28 \text{ módulos} = 11 \text{ módulos por string.}$$

Utilizando o software PVSol, o projeto é configurado através dos dados do CRESESB, que por meio das coordenadas geográficas (latitude e longitude) fornece a localidade e os valores de irradiação solar em kWh/m².dia.

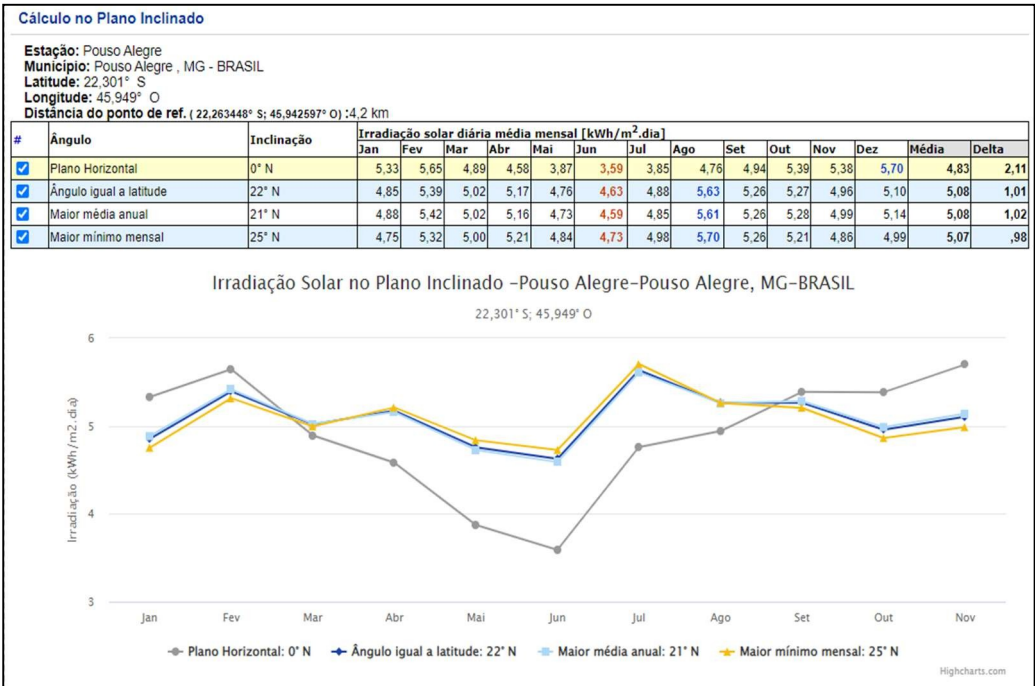
Para produzir mais energia no verão, o ideal é diminuir a angulação dos módulos, já no inverno é necessário aumentar a angulação dos módulos. Deste modo, para não favorecer nenhuma das estações do ano em particular, os módulos são inclinados de acordo com a latitude do local.

Para cada localidade, o CRESESB sugere três médias alternativas que são obtidas a partir dos valores do plano horizontal. Esses dados são sugestivos, já que os ângulos ideais podem variar de acordo com o clima e o relevo. A tabela abaixo possui três opções: ângulo igual a latitude, maior média anual e maior mínimo mensal. Para este estudo, o ângulo utilizado no software PVSol é igual a latitude, de forma a garantir o melhor desempenho do sistema fotovoltaico para a região de Pouso Alegre. De acordo com o CRESESB:

O ângulo com a maior média diária anual de irradiação solar costuma ser usada quando se deseja a maior geração anual de energia dentro do Sistema de Compensação

de Energia, definido pela Resolução Normativa da Aneel nº 482/12. Já o ângulo com maior valor mínimo mensal de irradiação solar costuma ser uma medida conservadora, usado em situações onde o fornecimento contínuo de energia elétrica é crítico e por isso procura-se minimizar o risco de falta de energia.

Figura 16 – Dados do local de acordo com as coordenadas (CRESESB).



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 17 – Coordenadas (PVSOL).

MeteoSyn - Criar dados climáticos para novo local

País: Brasil

Busca: -22.263448,-45.942597 Iniciar

☐ Local ☒ Lat/Lon ☐ Código postal

Localização: Local: Pouso Alegre

Estado:

Código postal:

Dados: ☐ Meteonorm 8 ☐ PVGIS / NSRDB (TMY) ☐ Solcast (TMY) ☒ Dados de medição

Origem dos dados: Estação

Período de medição: De Até

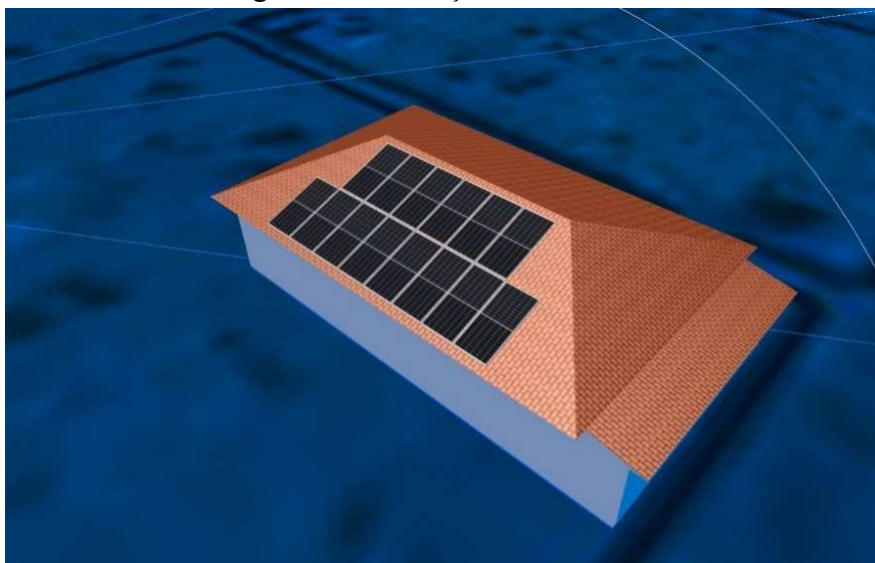
Mês	Irradiação global kWh/m² (dia)	Temperatura exterior média Sem entrada
jan	4,85	
fev	5,39	
mar	5,02	
abr	5,17	
mai	4,76	
jun	4,63	
jul	4,88	
ago	5,63	
set	5,26	
out	5,27	
nov	4,96	
dez	5,10	

OK Cancelar

Fonte: Autoria própria (2022).

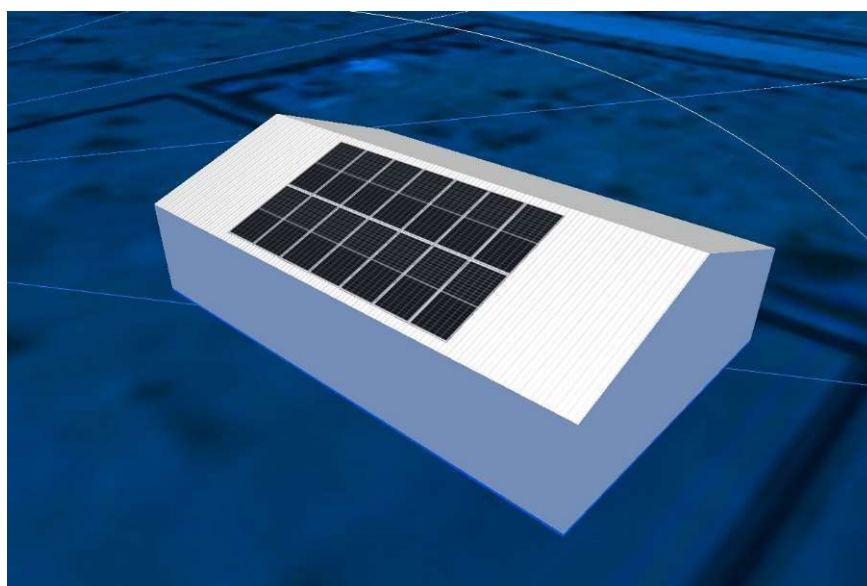
Para simulação de geração, é importado ao PVSol uma maquete em 3D, que previamente foi realizada no software SketchUp. Na simulação para solo e para telhado, os módulos fotovoltaicos foram alocados na orientação norte e inclinação de ambas as usinas é de 22°, conforme a latitude local. Os módulos foram distribuídos no solo de modo a não receber a sombra do muro e nem das fileiras à frente, e nos telhados foram considerados telhas em três materiais diferentes, sendo telha cerâmica, metálica e fibrocimento.

Imagem 2 – Instalação em telhado cerâmico.



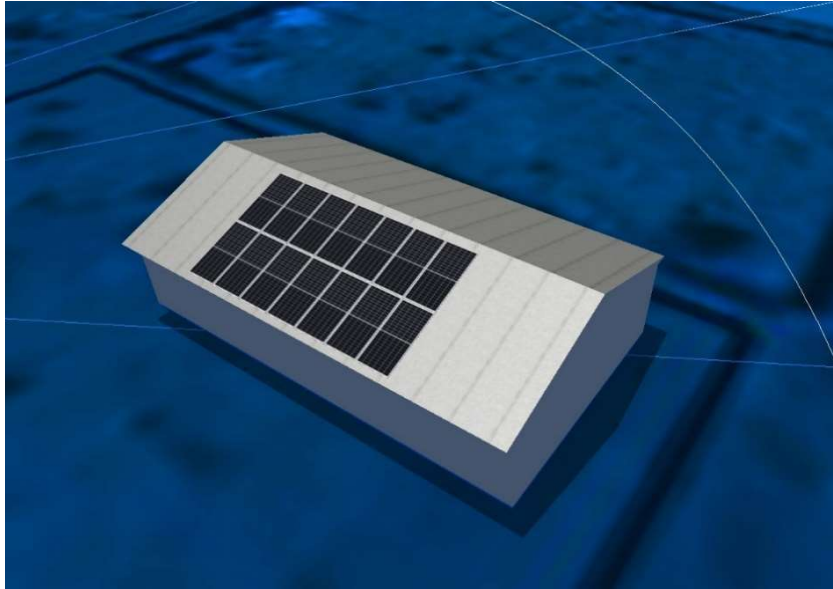
Fonte: Autoria própria (2022).

Imagem 3 – Instalação em telhado metálico.



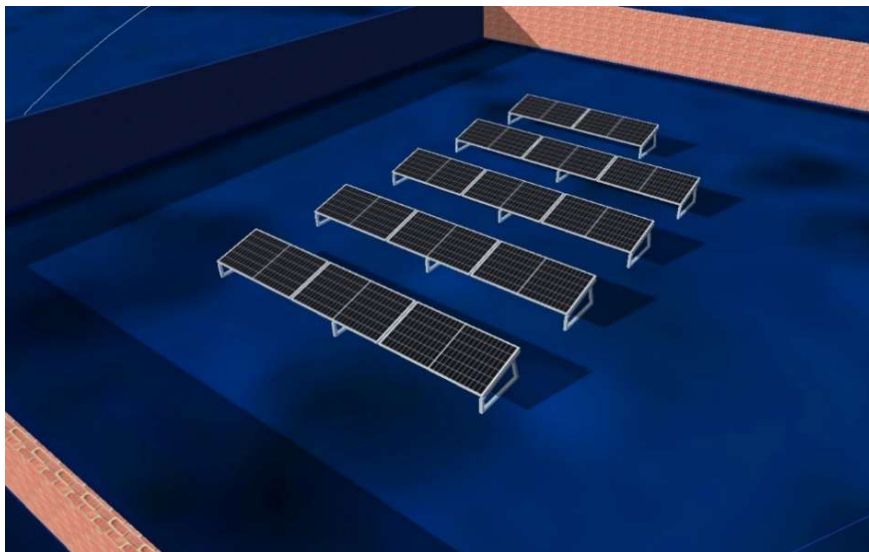
Fonte: Autoria própria (2022).

Imagem 4 – Instalação em telhado de fibrocimento.



Fonte: Autoria própria (2022).

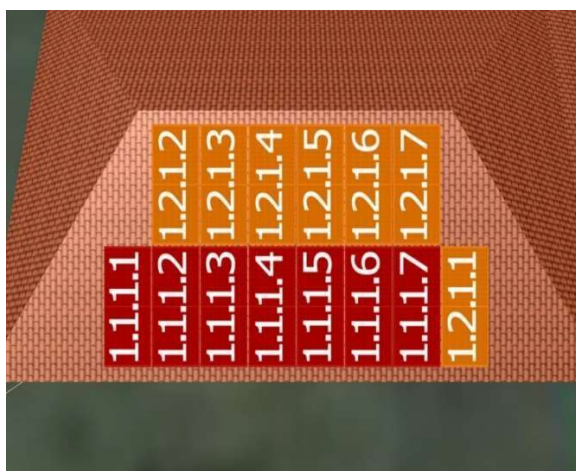
Imagem 5 – Instalação no solo.



Fonte: Autoria própria (2022).

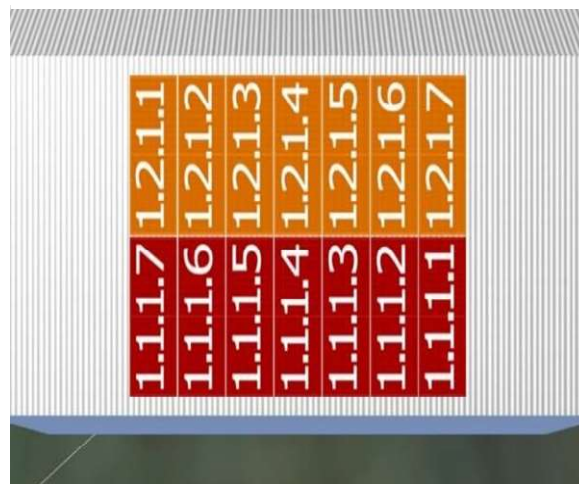
No software é necessário escolher o modelo e a potência dos módulos a serem alocados sobre a superfície do terreno e do telhado. Assim que distribuídos, é realizada a separação de strings para conexão dos módulos no inversor calculado.

Imagem 6 – Módulo alocados em telhado cerâmico.



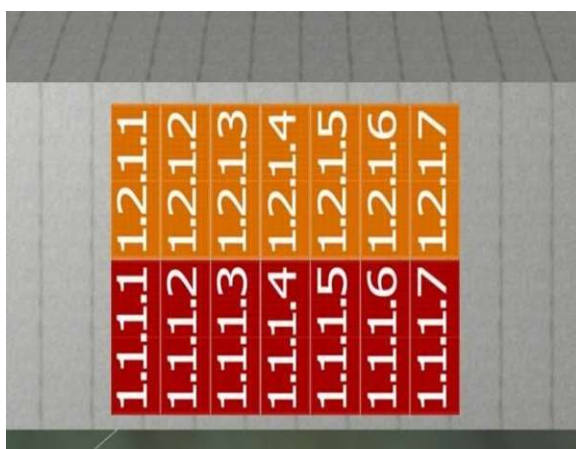
Fonte: Autoria própria (2022).

Imagem 7 – Módulo alocados em telhado metálico.



Fonte: Autoria própria (2022).

Imagem 8 – Módulo alocados em telhado de fibrocimento.



Fonte: Autoria própria (2022).

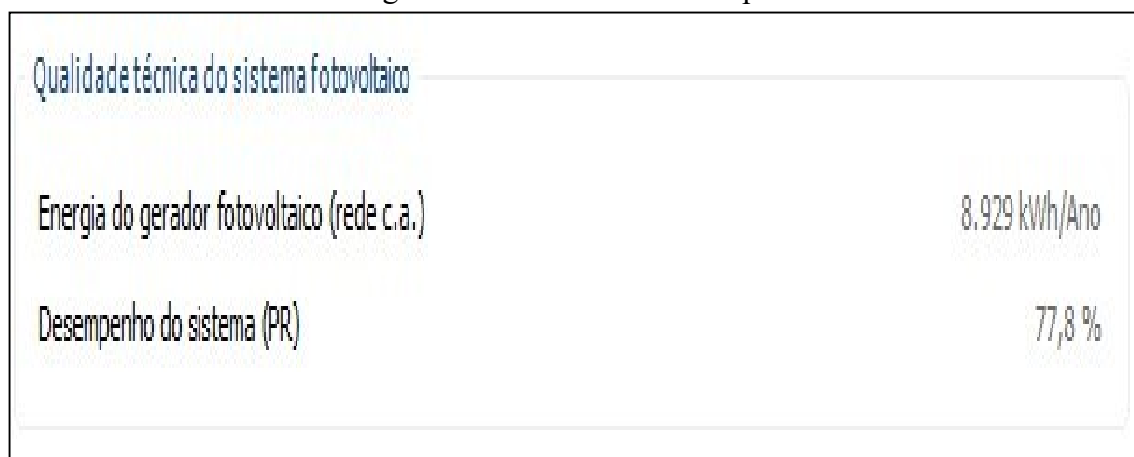
Imagem 9 – Módulo alocados no solo.



Fonte: Autoria própria (2022).

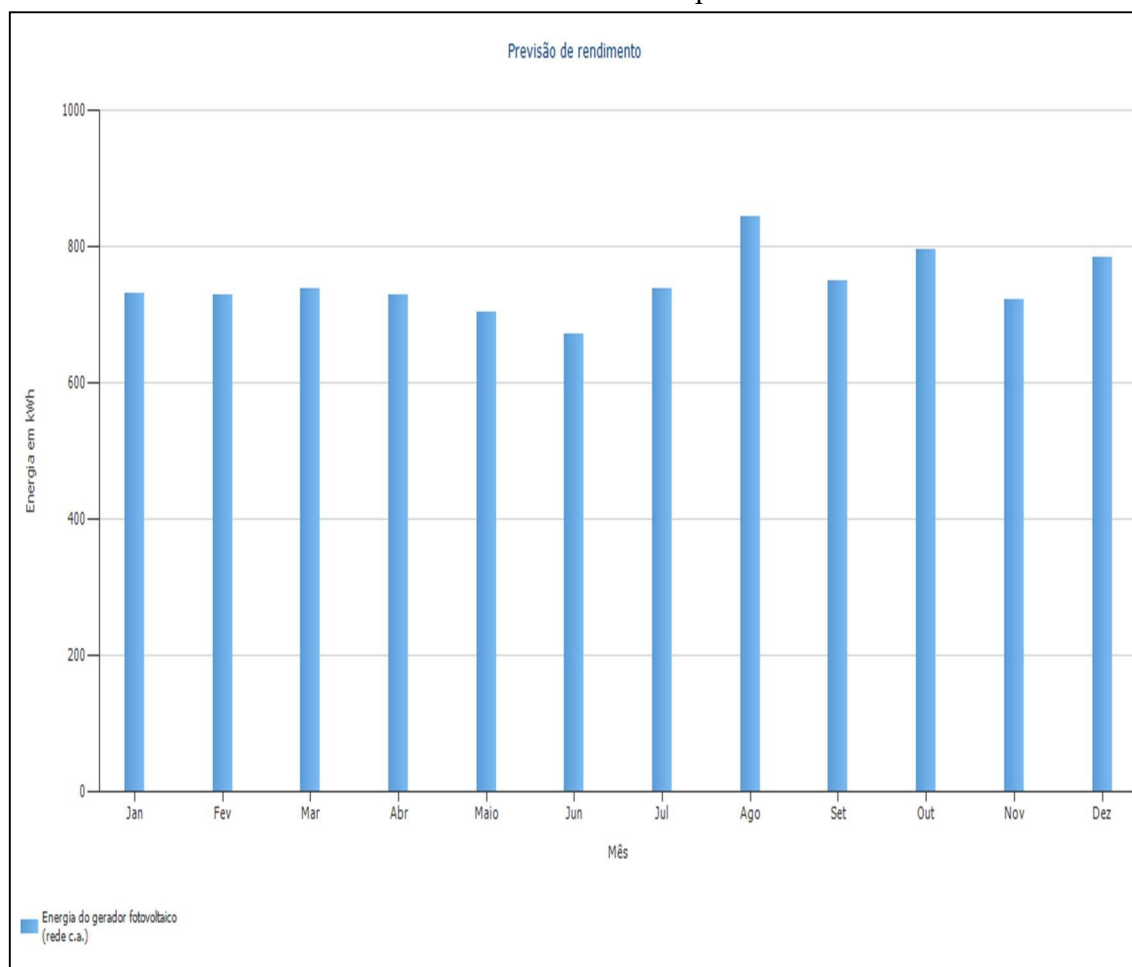
De acordo com os dados fornecidos ao PVSol, o mesmo determinou uma geração de 8.929 kWh/Ano ou 744 kWh/mês. Os cálculos apresentados são mais precisos, sendo possível concluir com mais exatidão que a quantidade de módulos calculados, previamente, apresenta uma geração maior que o consumo médio anual, sendo suficiente para amortizar a fatura de energia.

Imagem 10 – Dados fornecidos pelo PVSol.



Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 1 – Dados fornecidos pelo PVSol.



Fonte: Autoria própria (2022).

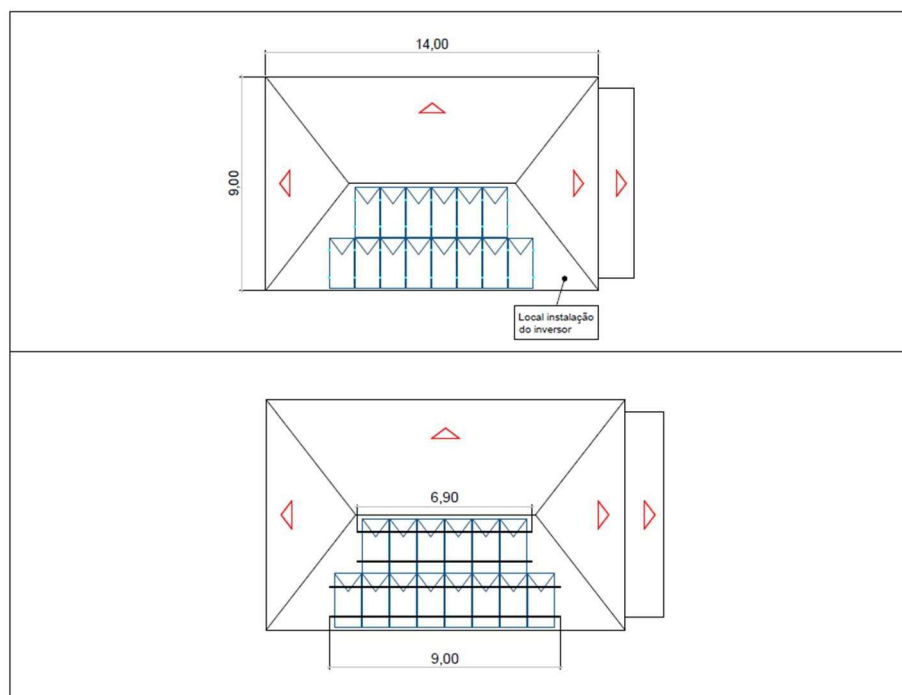
4.2 Análise de custos

Para análise de custos, foi realizado um projeto executivo em 2D através do software AutoCad para que fossem determinados os quantitativos de materiais a serem utilizados em cada tipo de telhado e no solo, a estes materiais foram acrescentados os custos reais para fazer a comparação entre cada um deles.

Além dos materiais para a instalação do sistema fotovoltaico, foi contabilizado o custo do projeto executivo, consultoria dos engenheiros durante a execução da obra e o valor da mão de obra para instalação. Os valores variam de acordo com a complexidade do projeto, o local a ser instalado (dentro ou fora da cidade de Pouso Alegre) e o tipo de mão de obra.

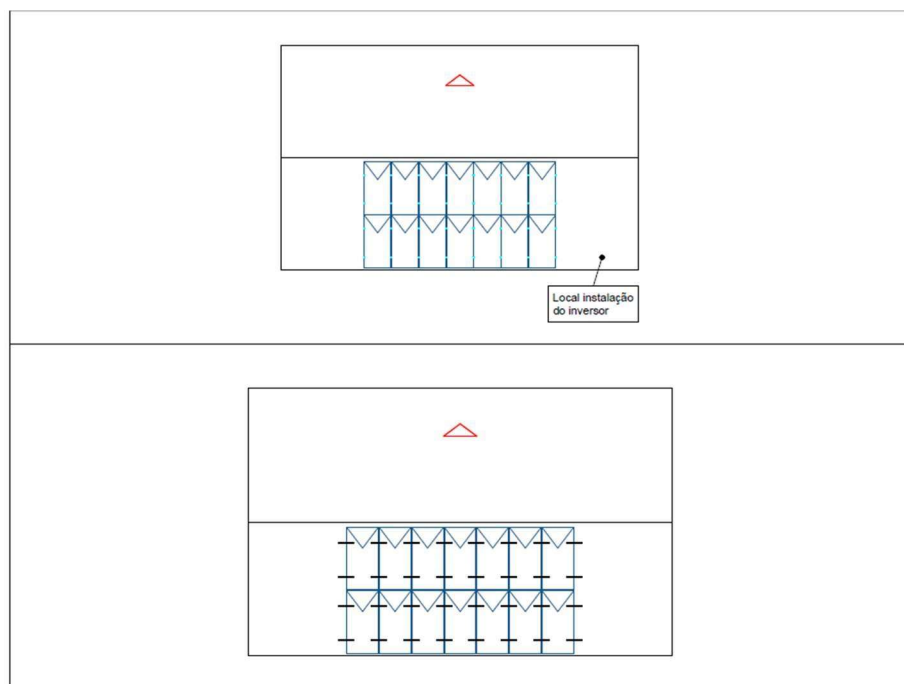
Para os custos de mão de obra elétrica foi considerado o valor do dia do eletricitista com o auxílio de um ajudante, bem como seus gastos diários de transporte e alimentação. Os custos de mão de obra civil considerados incluem o valor do dia do pedreiro com dois ajudantes e também seus gastos diários de transporte e alimentação.

Imagem 11 – Distribuição dos módulos e estrutura (telhado cerâmico).



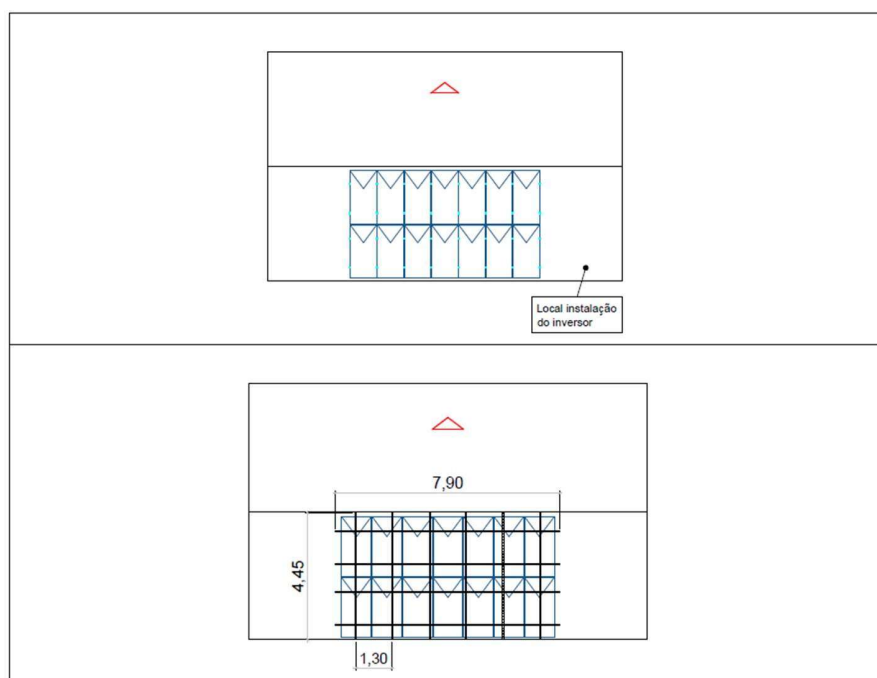
Fonte: Autoria própria (2022).

Imagem 12 – Distribuição dos módulos e estrutura (telhado metálico).



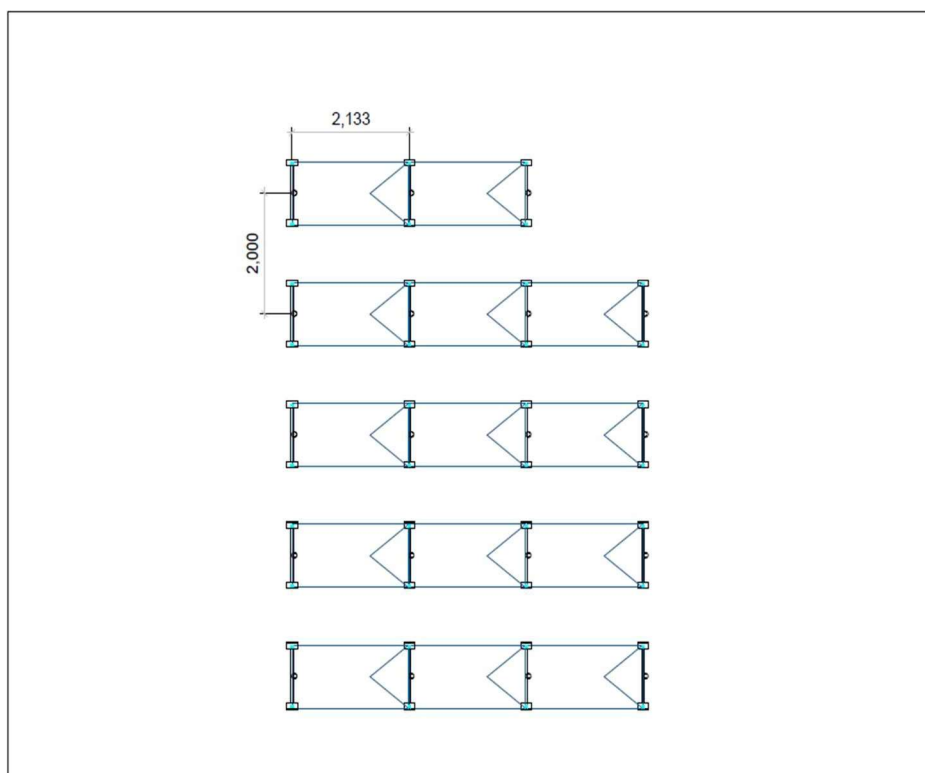
Fonte: Autoria própria (2022).

Imagem 13 – Distribuição dos módulos e estrutura (telhado de fibrocimento).



Fonte: Autoria própria (2022).

Imagem 14 – Distribuição dos módulos e estrutura (instalação no solo).



Fonte: Autoria própria (2022).

4.3 Lista de materiais

Nas tabelas abaixo, está descrito os materiais utilizados para a instalação em cada tipo de telhado e no solo, e seus respectivos valores, juntamente com os custos de consultoria e acompanhamento de mão de obra e o lucro recebido. Esses valores foram retirados através de pesquisa realizadas na cidade de Pouso Alegre e em suas proximidades. Dentre os fornecedores selecionados estão: Perfil Lider, Megatron, Isoeste Metálica, Comap Materiais de Construção, Ciser e Elétrica Padrão.

Para o resultado do lucro desses materiais foi feito uma pesquisa em uma empresa fornecedora de usina fotovoltaicas que se encontra na cidade de Pouso Alegre. Foram analisadas as despesas administrativas, operacionais e comerciais dessa empresa.

Tabela 2 – Lista de materiais, telhado cerâmico.

LISTA DE MATERIAIS - TELHADO CERÂMICO				
Descrição	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Valor total
MÓDULO E FIXAÇÃO				
Módulo Fotovoltaico 445 Wp	Unidade	14	R\$ 850,00	R\$ 11.900,00
Conector MC4 par simples	und	2	R\$ 6,00	R\$ 12,00
Terminal final 35 mm	und	8	R\$ 1,99	R\$ 15,92
Terminal intermediário	und	24	R\$ 1,99	R\$ 47,76
ESTRUTURA				
Perfilado 38 mm x 38 mm x 3 m	barra	11	R\$ 86,00	R\$ 946,00
Emenda reta interna 38 mm x 38 mm	und	10	R\$ 3,50	R\$ 35,00
Fita perfurada 38 mm x 3000 mm	und	6	R\$ 17,90	R\$ 107,40
INVERSOR				
Inversor 5 kW	und	1	R\$ 3.150,00	R\$ 3.150,00
Quadro de sobrepor para disjuntor bipolar	und	1	R\$ 25,50	R\$ 25,50
Caixa de passagem 15 x 15 PVC	und	1	R\$ 12,00	R\$ 12,00
PROTEÇÃO				
Disjuntor DIN bipolar 32A	und	1	R\$ 22,00	R\$ 22,00
Haste de aterramento	und	1	R\$ 81,00	R\$ 81,00
Terminal pré-isolado ilhós tubular 6mm	und	4	R\$ 0,25	R\$ 1,00
Terminal pré-isolado olhal 6mm	und	8	R\$ 0,70	R\$ 5,60
Conector fendido bimetálico 16mm	und	3	R\$ 4,50	R\$ 13,50
CABOS				
Cabo flexível solar 4 mm ² (vermelho)	m	60	R\$ 3,50	R\$ 210,00
Cabo flexível cobre 6 mm ² (preto)	m	40	R\$ 3,80	R\$ 152,00
Cabo flexível cobre 6 mm ² (verde)	m	40	R\$ 3,80	R\$ 152,00
PARAFUSOS				
Parafuso com bucha e arruela nº 8	und	20	R\$ 0,35	R\$ 7,00
Parafuso sextavado 5/16 x 1"	und	8	R\$ 0,30	R\$ 2,40
Parafuso sextavado 5/16 x 1 1/4"	und	24	R\$ 0,25	R\$ 6,00
Porca losangular 5/16 x 2"	und	32	R\$ 1,65	R\$ 52,80
Parafuso sextavado 5/16 x 3/4"	und	60	R\$ 0,20	R\$ 12,00
Arruela 5/16 x 3/4"	und	120	R\$ 0,12	R\$ 14,40
Porca 5/16 x 3/4"	und	60	R\$ 0,60	R\$ 36,00
Parafuso autobrocante sextavado 12 x 7/8"	und	70	R\$ 0,40	R\$ 28,00
PLACAS DE IDENTIFICAÇÃO				
Placa - Geração própria	und	1	R\$ 6,50	R\$ 6,50
Placa - Somente pessoal autorizado	und	1	R\$ 2,20	R\$ 2,20
Placa - Risco de choque elétrico	und	1	R\$ 3,00	R\$ 3,00
Placa - Orientação para leitura de medidor	und	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00
INFRAESTRUTURA ELÉTRICA				
Eletroduto PVC 1"	barra	2	R\$ 12,00	R\$ 24,00
Curva eletroduto PVC 90º 1"	und	2	R\$ 1,75	R\$ 3,50
Curva S PVC 1"	und	2	R\$ 2,30	R\$ 4,60
Luva de união PVC 1"	und	4	R\$ 0,60	R\$ 2,40
Abraçadeira metálica 1"	und	15	R\$ 1,30	R\$ 19,50
Unidut 1"	und	4	R\$ 2,70	R\$ 10,80
Unidut reto 1"	und	2	R\$ 3,10	R\$ 6,20
Corrugado 1" 25 m	rolo	1	R\$ 80,00	R\$ 80,00
MATERIAIS DE CONSUMO				
Fita isolante preta 19 mm x 3 m	und	1	R\$ 5,50	R\$ 5,50
Abraçadeira Nylon 190 mm x 3,5 mm	und	30	R\$ 0,10	R\$ 3,00
Spiral duto 1 m	und	1	R\$ 0,99	R\$ 0,99
Fita manta asfáltica	und	1	R\$ 13,90	R\$ 13,90
Veda calha PU	und	1	R\$ 14,69	R\$ 14,69
Composto anti óxido	und	1	R\$ 39,90	R\$ 39,90
Fita auto fusão	und	1	R\$ 22,00	R\$ 22,00
CUSTO				R\$ 17.314,96

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 3 – Lista de materiais, telhado metálico.

LISTA DE MATERIAIS - TELHADO METÁLICO				
Descrição	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Valor total
MÓDULO E FIXAÇÃO				
Módulo Fotovoltaico 445 Wp	Unidade	14	R\$ 850,00	R\$ 11.900,00
Conector MC4 par simples	und	2	R\$ 6,00	R\$ 12,00
Terminal final 35 mm	und	8	R\$ 1,99	R\$ 15,92
Terminal intermediário	und	24	R\$ 1,99	R\$ 47,76
ESTRUTURA				
Perfilado 38 mm x 38 mm x 3 m	barra	6	R\$ 86,00	R\$ 516,00
Fita perfurada 38 mm x 3000 mm	und	6	R\$ 17,90	R\$ 107,40
INVERSOR				
Inversor 5 kW	und	1	R\$ 3.150,00	R\$ 3.150,00
Quadro de sobrepor para disjuntor bipolar	und	1	R\$ 25,50	R\$ 25,50
Caixa de passagem 15 x 15 PVC	und	1	R\$ 12,00	R\$ 12,00
PROTEÇÃO				
Disjuntor DIN bipolar 32A	und	1	R\$ 22,00	R\$ 22,00
Haste de aterramento	und	1	R\$ 81,00	R\$ 81,00
Terminal pré-isolado ilhós tubular 6mm	und	4	R\$ 0,25	R\$ 1,00
Terminal pré-isolado olhal 6mm	und	8	R\$ 0,70	R\$ 5,60
Conector fendido bimetálico 16mm	und	3	R\$ 4,50	R\$ 13,50
CABOS				
Cabo flexível solar 4 mm ² (vermelho)	m	60	R\$ 3,50	R\$ 210,00
Cabo flexível cobre 6 mm ² (preto)	m	40	R\$ 3,80	R\$ 152,00
Cabo flexível cobre 6 mm ² (verde)	m	40	R\$ 3,80	R\$ 152,00
PARAFUSOS				
Parafuso com bucha e arruela nº 8	und	20	R\$ 0,35	R\$ 7,00
Parafuso sextavado 5/16 x 1"	und	8	R\$ 0,30	R\$ 2,40
Parafuso sextavado 5/16 x 1 1/4"	und	24	R\$ 0,25	R\$ 6,00
Porca losangular 5/16 x 2"	und	32	R\$ 1,65	R\$ 52,80
Parafuso sextavado 5/16 x 3/4"	und	40	R\$ 0,20	R\$ 8,00
Arruela 5/16 x 3/4"	und	80	R\$ 0,12	R\$ 9,60
Porca 5/16 x 3/4"	und	40	R\$ 0,60	R\$ 24,00
PLACAS DE IDENTIFICAÇÃO				
Placa - Geração própria	und	1	R\$ 6,50	R\$ 6,50
Placa - Somente pessoal autorizado	und	1	R\$ 2,20	R\$ 2,20
Placa - Risco de choque elétrico	und	1	R\$ 3,00	R\$ 3,00
Placa - Orientação para leitura de medidor	und	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00
INFRAESTRUTURA ELÉTRICA				
Eletroduto PVC 1"	barra	2	R\$ 12,00	R\$ 24,00
Curva eletroduto PVC 90º 1"	und	2	R\$ 1,75	R\$ 3,50
Curva S PVC 1"	und	2	R\$ 2,30	R\$ 4,60
Luva de união PVC 1"	und	4	R\$ 0,60	R\$ 2,40
Abraçadeira metálica 1"	und	15	R\$ 1,30	R\$ 19,50
Unidut 1"	und	4	R\$ 2,70	R\$ 10,80
Unidut reto 1"	und	2	R\$ 3,10	R\$ 6,20
Corrugado 1" 25 m	rolo	1	R\$ 80,00	R\$ 80,00
MATERIAIS DE CONSUMO				
Fita isolante preta 19 mm x 3 m	und	1	R\$ 5,50	R\$ 5,50
Abraçadeira Nylon 190 mm x 3,5 mm	und	30	R\$ 0,10	R\$ 3,00
Spiral duto 1 m	und	1	R\$ 0,99	R\$ 0,99
Fita manta asfáltica	und	1	R\$ 13,90	R\$ 13,90
Veda calha PU	und	2	R\$ 14,69	R\$ 29,38
Composto anti óxido	und	1	R\$ 39,90	R\$ 39,90
Fita auto fusão	und	1	R\$ 22,00	R\$ 22,00
CUSTO				R\$ 16.815,85

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 4 – Lista de materiais, telhado de fibrocimento.

LISTA DE MATERIAIS - FIBROCIMENTO				
Descrição	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Valor total
MÓDULO E FIXAÇÃO				
Módulo Fotovoltaico 445 Wp	Unidade	14	R\$ 850,00	R\$ 11.900,00
Conector MC4 par simples	und	2	R\$ 6,00	R\$ 12,00
Terminal final 35 mm	und	8	R\$ 1,99	R\$ 15,92
Terminal intermediário	und	24	R\$ 1,99	R\$ 47,76
ESTRUTURA				
Perfilado 38 mm x 38 mm x 3 m	barra	9	R\$ 86,00	R\$ 774,00
Perfilado 38 mm x 19 mm x 3 m	barra	11	R\$ 48,00	R\$ 528,00
Emenda reta interna 38 mm x 38 mm	und	6	R\$ 3,50	R\$ 21,00
Emenda reta interna 38 mm x 19 mm	und	8	R\$ 1,89	R\$ 15,12
Fita perfurada 38 mm x 3000 mm	und	6	R\$ 17,90	R\$ 107,40
INVERSOR				
Inversor 5 kW	und	1	R\$ 3.150,00	R\$ 3.150,00
Quadro de sobrepor para disjuntor bipolar	und	1	R\$ 25,50	R\$ 25,50
Caixa de passagem 15 x 15 PVC	und	1	R\$ 12,00	R\$ 12,00
PROTEÇÃO				
Disjuntor DIN bipolar 32A	und	1	R\$ 22,00	R\$ 22,00
Haste de aterramento	und	1	R\$ 81,00	R\$ 81,00
Terminal pré-isolado ilhós tubular 6mm	und	4	R\$ 0,25	R\$ 1,00
Terminal pré-isolado olhal 6mm	und	8	R\$ 0,70	R\$ 5,60
Conector fendido bimetálico 16mm	und	3	R\$ 4,50	R\$ 13,50
CABOS				
Cabo flexível solar 4 mm² (vermelho)	m	60	R\$ 3,50	R\$ 210,00
Cabo flexível cobre 6 mm² (preto)	m	40	R\$ 3,80	R\$ 152,00
Cabo flexível cobre 6 mm² (verde)	m	40	R\$ 3,80	R\$ 152,00
PARAFUSOS				
Parafuso com bucha e arruela nº 8	und	20	R\$ 0,35	R\$ 7,00
Parafuso sextavado 5/16 x 1"	und	8	R\$ 0,30	R\$ 2,40
Parafuso sextavado 5/16 x 1 1/4"	und	24	R\$ 0,25	R\$ 6,00
Porca losangular 5/16 x 2"	und	32	R\$ 1,65	R\$ 52,80
Parafuso sextavado 5/16 x 3/4"	und	75	R\$ 0,20	R\$ 15,00
Arruela 5/16 x 3/4"	und	150	R\$ 0,12	R\$ 18,00
Porca 5/16 x 3/4 "	und	75	R\$ 0,60	R\$ 45,00
Kit parafuso telha fibrocimento 5/16 x 9"	und	35	R\$ 25,00	R\$ 875,00
PLACAS DE IDENTIFICAÇÃO				
Placa - Geração própria	und	1	R\$ 6,50	R\$ 6,50
Placa - Somente pessoal autorizado	und	1	R\$ 2,20	R\$ 2,20
Placa - Risco de choque elétrico	und	1	R\$ 3,00	R\$ 3,00
Placa - Orientação para leitura de medidor	und	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00
INFRAESTRUTURA ELÉTRICA				
Eletroduto PVC 1"	barra	2	R\$ 12,00	R\$ 24,00
Curva eletroduto PVC 90º 1"	und	2	R\$ 1,75	R\$ 3,50
Curva S PVC 1"	und	2	R\$ 2,30	R\$ 4,60
Luva de união PVC 1"	und	4	R\$ 0,60	R\$ 2,40
Abraçadeira metálica 1"	und	15	R\$ 1,30	R\$ 19,50
Unidut 1"	und	4	R\$ 2,70	R\$ 10,80
Unidut reto 1"	und	2	R\$ 3,10	R\$ 6,20
Corrugado 1" 25 m	rol	1	R\$ 80,00	R\$ 80,00
MATERIAIS DE CONSUMO				
Fita isolante preta 19 mm x 3 m	und	1	R\$ 5,50	R\$ 5,50
Abraçadeira Nylon 190 mm x 3,5 mm	und	30	R\$ 0,10	R\$ 3,00
Spiral duto 1 m	und	1	R\$ 0,99	R\$ 0,99
Fita manta asfáltica	und	1	R\$ 13,90	R\$ 13,90
Veda calha PU	und	1	R\$ 14,69	R\$ 14,69
Composto anti óxido	und	1	R\$ 39,90	R\$ 39,90
Fita auto fusão	und	1	R\$ 22,00	R\$ 22,00
CUSTO				R\$ 18.534,68

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 5 – Lista de materiais instalação em solo.

LISTA DE MATERIAIS - SOLO				
Descrição	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Valor total
MÓDULO E FIXAÇÃO				
Módulo Fotovoltaico 445 Wp	Unidade	14	R\$ 850,00	R\$ 11.900,00
Conector MC4 par simples	und	8	R\$ 6,00	R\$ 48,00
Terminal final 35 mm	und	20	R\$ 1,99	R\$ 39,80
Terminal intermediário	und	18	R\$ 1,99	R\$ 35,82
ESTRUTURA				
Pórtico metálico galvanizado	und	19	R\$ 89,00	R\$ 1.691,00
INVERSOR				
Inversor 5 kW	und	1	R\$ 3.150,00	R\$ 3.150,00
Quadro de sobrepor para disjuntor bipolar	und	1	R\$ 25,50	R\$ 25,50
Caixa de passagem 15 x 15 PVC	und	1	R\$ 12,00	R\$ 12,00
PROTEÇÃO				
Disjuntor DIN bipolar 32A	und	1	R\$ 22,00	R\$ 22,00
Haste de aterramento	und	1	R\$ 81,00	R\$ 81,00
Terminal pré-isolado ilhós tubular 6mm	und	4	R\$ 0,25	R\$ 1,00
Terminal pré-isolado olhal 6mm	und	8	R\$ 0,70	R\$ 5,60
Conector fendido bimetálico 16mm	und	3	R\$ 4,50	R\$ 13,50
CABOS				
Cabo flexível solar 4 mm ² (vermelho)	m	60	R\$ 3,50	R\$ 210,00
Cabo flexível cobre 6 mm ² (preto)	m	40	R\$ 3,80	R\$ 152,00
Cabo flexível cobre 6 mm ² (verde)	m	60	R\$ 3,80	R\$ 228,00
PARAFUSOS				
Parafuso com bucha e arruela nº 8	und	10	R\$ 0,35	R\$ 3,50
Parafuso sextavado inox 38 x 7/8"	und	40	R\$ 0,55	R\$ 22,00
PLACAS DE IDENTIFICAÇÃO				
Placa - Geração própria	und	1	R\$ 6,50	R\$ 6,50
Placa - Somente pessoal autorizado	und	1	R\$ 2,20	R\$ 2,20
Placa - Risco de choque elétrico	und	1	R\$ 3,00	R\$ 3,00
Placa - Orientação para leitura de medidor	und	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00
INFRAESTRUTURA ELÉTRICA				
Eletroduto PVC 1"	barra	2	R\$ 12,00	R\$ 24,00
Curva eletroduto PVC 90º 1"	und	2	R\$ 1,75	R\$ 3,50
Curva S PVC 1"	und	2	R\$ 2,30	R\$ 4,60
Luva de união PVC 1"	und	4	R\$ 0,60	R\$ 2,40
Abraçadeira metálica 1"	und	8	R\$ 1,30	R\$ 10,40
Unidut 1"	und	4	R\$ 2,70	R\$ 10,80
Unidut reto 1"	und	2	R\$ 3,10	R\$ 6,20
Corrugado 1" 25 m	rolo	1	R\$ 80,00	R\$ 80,00
MATERIAIS DE CONSUMO				
Fita isolante preta 19 mm x 3 m	und	1	R\$ 5,50	R\$ 5,50
Abraçadeira Nylon 190 mm x 3,5 mm	und	30	R\$ 0,10	R\$ 3,00
Spiral duto 1 m	und	1	R\$ 0,99	R\$ 0,99
Veda calha PU	und	1	R\$ 14,69	R\$ 14,69
Composto anti óxido	und	1	R\$ 39,90	R\$ 39,90
Fita auto fusão	und	1	R\$ 22,00	R\$ 22,00
MATERIAIS OBRA CIVIL				
Abertura de vala	m	10	R\$ 5,00	R\$ 50,00
Cimento 50 kg	saco	3	R\$ 29,90	R\$ 89,70
Areia média	m ³	0,4	R\$ 320,00	R\$ 128,00
Brita nº 1	m ³	0,3	R\$ 240,00	R\$ 72,00
CUSTO				R\$ 18.225,10

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 6 – Insumos finais (telhado cerâmico).

Insumos	Valor
Materiais elétricos	R\$ 17.314,96
Projeto 5 kW	R\$ 600,00
Consultoria e acompanhamento	R\$ 600,00
Mão de obra instalação (elétrica)	R\$ 1.400,00
Valor total	R\$ 19.914,96
Valor vendido com % de lucro	R\$ 29.872,44

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 7 – Insumos finais (telhado metálico).

Insumos	Valor
Materiais elétricos	R\$ 16.815,85
Projeto 5 kW	R\$ 600,00
Consultoria e acompanhamento	R\$ 600,00
Mão de obra instalação (elétrica)	R\$ 1.400,00
Valor total	R\$ 19.415,85
Valor vendido com % de lucro	R\$ 29.123,78

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 8 – Insumos finais (telhado de fibrocimento).

Insumos	Valor
Materiais elétricos	R\$ 18.534,68
Projeto 5 kW	R\$ 600,00
Consultoria e acompanhamento	R\$ 600,00
Mão de obra instalação (elétrica)	R\$ 2.100,00
Valor total	R\$ 21.834,68
Valor vendido com % de lucro	R\$ 32.752,02

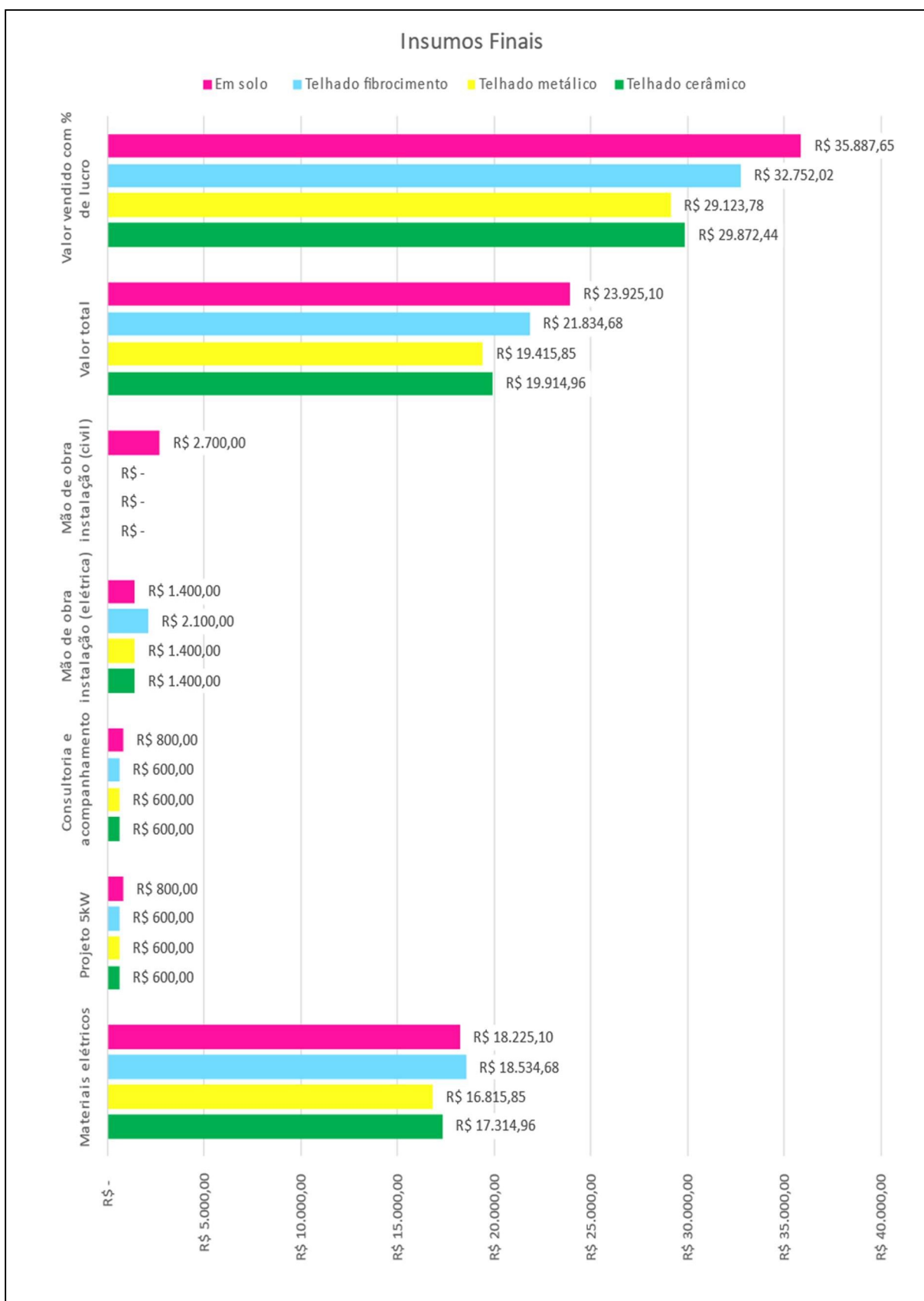
Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 9 – Insumos finais (em solo).

Insumos	Valor
Materiais elétricos	R\$ 18.225,10
Projeto 5 kW	R\$ 800,00
Consultoria e acompanhamento	R\$ 800,00
Mão de obra instalação (elétrica)	R\$ 1.400,00
Mão de obra instalação (civil)	R\$ 2.700,00
Valor total	R\$ 23.925,10
Valor vendido com % de lucro	R\$ 35.887,65

Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 2 – Insumos finais



Fonte: Autoria própria (2022).

5. Conclusão

O presente artigo abordou a necessidade de utilizar-se de novos métodos para obtenção de energia elétrica, visto que, com o aumento da população mundial fica evidente que é preciso analisar as questões ligadas ao esgotamento dos recursos naturais, já que no Brasil a principal forma de obtenção de energia é através das usinas hidrelétricas.

Este artigo levou em consideração que para o dimensionamento fotovoltaico de uma residência unifamiliar com consumo médio anual de energia de 696 kWh/mês, foram adotados módulos com potência de 445 W da marca Risen Energy, com a constante de perda de energia de 20% e considerando que o sistema está na orientação norte e não possui sombreamento a GM (geração por módulos) será de 52,27 kWh/mês, e a QM (quantidade de módulos) será igual a 14.

O artigo apresentado teve como objetivo realizar um estudo comparativo apresentando a viabilidade técnica e financeira da instalação de painéis fotovoltaicos no telhado com diferentes materiais ou em solo, mostrando as especificações de cada uma delas, trazendo dados quanti-qualitativos sobre a utilização de uma fonte de energia limpa e inesgotável como alternativa sustentável para contribuir com o suprimento da demanda energética no país.

A análise de geração foi realizada no município de Pouso Alegre, Minas Gerais, os módulos fotovoltaicos foram alocados na orientação norte e a inclinação de ambas as usinas tanto para os telhados como para o solo é de 22°.

Sendo assim, concluímos que para a instalação do sistema fotovoltaico no telhado e no solo a geração de energia foi de 8.929 kWh/Ano ou 744 kWh/mês, ou seja, suficiente para amortizar a fatura de energia que era de 696 kWh/mês.

Em relação à fixação dos módulos podemos destacar que a instalação é mais simples no telhado cerâmico, sendo necessário um perfil de aço galvanizado com 3 metros, preso nas terças de madeira. Já no telhado metálico os perfis de aço são cortados com 50 cm a fim de economizar na quantidade pois são fixados apenas nas ondas mais altas das telhas. Por fim, o telhado de fibrocimento é o mais frágil em relação aos demais apresentados, pois é necessário criar uma estrutura sobre a telha para que não ceda com o peso dos módulos. No solo é feita uma estaca de concreto para segurar as bases metálicas que apoiam os módulos.

Na análise de custos para a instalação dos telhados, o telhado cerâmico teve o custo total de R\$29.872,44, para a instalação do telhado metálico o custo total foi de R\$29.123,78 e para a instalação do telhado de fibrocimento o custo total foi de R\$32.752,02, ou seja, entre os telhados o que possui menor custo para instalação é o telhado que possui a menor quantidade de perfis, e conseqüentemente menos materiais para fixação da estrutura. Já para a instalação no solo o custo total foi de R\$35.887,65 e seu maior custo está atrelado a dificuldade da mão de obra e os materiais civis. O telhado metálico se comparado a instalação em solo, a economia será de R\$6.763,87.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem primeiramente à Deus, aos nossos familiares e amigos pelo apoio, a professora orientadora Laísa Cristina Carvalho e a todos os professores que nos ajudaram a chegar até aqui.

7. Referência Bibliográfica

ABRADEE, Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica. **Redes de Energia Elétrica**. 2021. Disponível em: <https://www.abradee.org.br/setor-eletrico/redes-de-energia-eletrica/>. Acesso em: 28 out. 2022.

ANDRADE, André L. Campos de; MATTEI, Lauro. **A (in)sustentabilidade da matriz energética brasileira**. Revista Brasileira de Energia, vol. 19, nº 2, p. 9-36, 2º sem. 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/280298682_A_INSUSTENTABILIDADE_DA_MATRIZ_ENERGETICA_BRASILEIRA. Acesso em: 28 out. 2022.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>> . Acesso em: 23 set. 2022.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> . Acesso em: 23 set. 2022.

ENERGIA, Oca Solar. **Quais são os componentes de um sistema fotovoltaico?**. 2020. Disponível em: <<https://www.ocaenergia.com/blog/energia-solar/quais-sao-os-componentes-sistema-fotovoltaico/>>. Acesso em: 21 set. 2022.

ENERGIA, Simepe. **Por que a energia solar é uma fonte limpa e renovável?**. 2021. Disponível em: <<https://simepeenergia.com.br/por-que-a-energia-solar-e-uma-fonte-limpa-e-renovavel/>>. Acesso em: 20 set. 2022.

ENGENHARIA, Quantum. **História da energia solar fotovoltaica**: Como a evolução tecnológica vem ampliando o acesso à essa fonte sustentável de energia. 2020. Disponível em: <<https://www.quantumengenharia.net.br/historia-da-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 20 set. 2022.

ENGENHARIA, Alfa. **Energia Solar Fotovoltaica**. 2022. Disponível em: <<https://alfaengenharia.net.br/energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 23 set. 2022.

MARQUES, Fernando Mario Rodrigues. **Perspectivas para a Energia Solar no Brasil**. Disponível em: <https://www.crasp.gov.br/centro/conteudo/old/uploads/Artigo-Perspectivas-para-a-energia-solar-no-Brasil.pdf>. Acesso em: 28 out. 2022.

NASCIMENTO, Cássio Araújo do. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**; Universidade Federal de Lavras (UFLA); Monografia; 2004. Disponível em: https://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf. Acesso em: 28 out. 2022.

OLIVEIRA, Rafael Pedrosa de. **Bancada didática para sistema fotovoltaico off-grid**. Orientador: Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro. 2019. 47 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, 2019. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1933/1/MONOGRAFIA_BancadaDid%C3%A1ticaSistema.pdf. Acesso em: 23 set. 2022.

OSORIO, E. A. A. **Implementação e análise de um sistema fotovoltaico com módulos de silício multicristalino instalados em solo em propriedade rural**. Dissertação (Mestrado Em Engenharia E Tecnologia De Materiais). Escola Politécnica Pontifícia Universidade Católica Do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre. 2019.

PEREIRA, E. B., et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar. 1.ed.** São José dos Campos: INPE, 2006. Disponível em: http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2006.html. Acesso em: 28 out. 2022.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2.ed.** São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html. Acesso em: 28 out. 2022.

RENOVÁVEL, Solar Eólica. **Quais os tipos de Paineis Solar Fotovoltaico**. 2021. Disponível em: <<https://solareolicarenovavel.com/quais-os-tipos-de-painel-solar-fotovoltaico/>>. Acesso em: 21 set. 2022.

ROSA, Rodrigo Santa. **Sistema fotovoltaico conectado à rede - sfer / on-grid: O que é um sistema fotovoltaico conectado à rede**. 2017. CSR Energia Solar Ltda. Disponível em: <<http://www.csrenergiasolar.com.br/blog/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede---sfer-on-grid>>. Acesso em: 23 set. 2022.

SANTOS, Israel Joaquim dos. **Estudos de caso de um sistema fotovoltaico conectado à rede: Tipos de células fotovoltaicas**. 2018. 118 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro Universitário Unifacvest, Lages, 2018. Cap. 5.

SANTOS, Raynon Alves dos. **Estudos de caso e comparação da viabilidade econômica para a implementação de um sistema fotovoltaico on-grid e off-grid**. Orientadora: Dr. Franciele Lima de Sá. 2019. 147 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Centro Universitário Unifacvest, Lages, Santa Catarina, 2019. Disponível em: <<https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/33936-santos,-r.-a.-estudo-de-caso-e-comparacao-da-viabilidade-economica-para-a-implementacao-de-um-sistema-fotovoltaico-on-grid-e-off-grid.-tcc,-2019..pdf>>. Acesso em: 23 set. 2022.

SOLAR, Portal. **Como Vender de energia solar**. 2022. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/como-vender-energia-solar>>. Acesso em: 23 set. 2022.

SOLAR, Portal. **História e origem da Energia Solar**. 2022. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/historia-e-origem-da-energia-solar>>. Acesso em: 20 set. 2022.

SOUZA, Rafaela. **“Energia Solar”**; Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/energia-solar.htm>>. Acesso em: 20 set. 2022.

VIEIRA, Isabela Sales. **Expansão do sistema de transmissão de energia elétrica no Brasil**. Brasília, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/4034>. Acesso em: 28 out. 2022.