



DIMENSIONAMENTO E VIABILIDADE DO SISTEMA FOTOVOLTAICO ON-GRID PARA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR EM ELDORADO - MS

¹José Eduardo Bach da Silva; ²Thiago Biaca de Sousa

¹Discente do Curso de Engenharia Civil da Universidade Paranaense – UNIPAR;

²Docente do Curso de Engenharia Civil da Universidade Paranaense – UNIPAR;

RESUMO

O impacto do ser humano na natureza tem sido progressivo com a degradação da fauna e flora. É essencial dispor de métodos com potencial de redução à destruição ocorrente. Com o aumento de consumo energético nos últimos anos, uma alternativa usual de energia superabundante é a solar, que possui em suas vertentes o potencial de geração de energia elétrica. Embora seu custo inicial demande um capital alto, em curto período de tempo consegue se resolver. O objetivo deste trabalho é dimensionar e comprovar a viabilidade econômica da microgeração por meio da energia fotovoltaica, em residências unifamiliares. A pesquisa qualitativa descritiva apresenta a relação de custo, a viabilidade do uso dessa energia e garante que a implantação do sistema de produção de energia fotovoltaica no domicílio seja economicamente viável. Além de economizar, também é possível gerar créditos de energia por meio da superprodução e disponibilizá-los para a rede de distribuição, seu payback se encontra a partir do sétimo ano. Demonstra assim sua viabilidade, com custo benefício altíssimo.

PALAVRAS – CHAVE: Energia Elétrica, Fontes Alternativas de Energia, Energia Solar Fotovoltaica.

ABSTRACT

The impact of human beings on nature has been progressive with the degradation of fauna and flora. It is essential to have methods with the potential to reduce the damage that occurs. With the increase in energy consumption in recent years, a common alternative of super-abundant energy is solar, which has the potential to generate electricity in its aspects. Although its initial cost requires high capital, it can be solved in a short period of time. The objective of this work is to dimension and prove the economic viability of microgeneration through photovoltaic energy, in single-family homes. The descriptive qualitative research presents the cost relation, the viability of using this energy and guarantees that the implementation of the photovoltaic energy production system at home is economically viable. In addition to saving, it is also possible to generate energy credits through overproduction and make them available to the distribution network, with payback starting in the seventh year. It thus demonstrates its viability, with a very high cost-benefit.

KEYWORD: Electrical energy, Alternative energy sources, Photovoltaic solar energy.



1 Introdução

As reações causadas pelo impacto do ser humano ao meio ambiente são visíveis. É nosso dever procurar a melhor forma de atender estas necessidades sem causar mais estragos ao mesmo. Uma alternativa acessível e viável é a energia solar, que em suas vertentes tem o objetivo de fornecer energia elétrica para as residências e ser ecologicamente seguro. Vários países vêm adotando políticas de incentivo ao uso de fontes alternativas, entre as quais a energia solar, em substituição às fontes de origem fóssil, que liberam CO₂ na atmosfera, um dos gases causadores do efeito estufa. (SILVA, 2015).

Devido aos índices altos de irradiação solar global, o Brasil possui potencial enorme. O aumento da demanda energética em conjunto com a possibilidade de redução da oferta de combustíveis convencionais e a crescente preocupação com a preservação do meio ambiente está impulsionando a comunidade científica a pesquisar e desenvolver fontes alternativas de energia menos poluentes, renováveis e que produzam pouco impacto ambiental (PEREIRE, 2006). O mercado de geração de energia elétrica por fontes renováveis está se inserindo a passos largos na matriz energética brasileira. Atualmente o nordeste brasileiro já conta com 37,2% de geração de energia elétrica advinda dos parques eólicos (DANTAS, 2017). Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), as fontes consideradas renováveis são: solar, eólica, biomassa e hídrica (LOPES, 2010).

A energia solar é rica em recursos e tem uma ampla gama de utilizações. A maneira mais fácil de usar essa energia é por meio de soluções arquitetônicas que facilitem a iluminação solar ou o controle natural da temperatura. Também é possível utilizar o sistema para captar energia solar e posteriormente utilizá-la. Existem três tipos principais de sistemas solares hoje: sistemas solares térmicos, sistemas solares fotovoltaicos e sistema termossolar (SCHERER, 2015). A energia solar fotovoltaica é definida como a energia gerada através da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Isto se dá, por meio de um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica que atua utilizando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico (IMHOFF, 2007).

O objetivo do trabalho foi realizar um dimensionamento e demonstrar a viabilidade do sistema on-grid, para residência unifamiliar situada em Eldorado/MS, a fim de demonstrar seu custo para instalação e seu *payback*, ao incentivar a utilização do mesmo.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Energia solar

A energia solar teve seu início em 1839, quando Edmond Becquerel, um físico francês, observou que duas placas de latão imersas em um eletrólito líquido produziam eletricidade quando expostas à luz solar. A esse fenômeno deu-se o nome de efeito fotovoltaico (Komp, 2001; Smestad, 2002; Grätzel, 2001). Em 1883, Charles Fritts, um inventor americano, construiu a primeira bateria solar feita com folhas de selênio. Apesar de ter uma eficiência de conversão elétrica de apenas 1%, seu dispositivo teve muita repercussão, pois as pessoas não acreditavam que se poderia gerar energia sem a queima de combustíveis (Komp, 2001). A primeira célula solar preparada à base de silício



foi desenvolvida por cientistas da Bell Labs em 1954, a célula possuía eficiência de 6% (Komp, 2001; Smestad, 2002).

Ruther (2004) afirma que dentre as aplicações da energia solar, a geração de eletricidade pelo efeito fotovoltaico é uma das formas mais nobres, pois não causa poluição ao meio ambiente e advém de uma fonte renovável. Portanto, ao se tratar de uma fonte de energia renovável e apresentar vários benefícios, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovou em 17 de abril de 2012, a Resolução Normativa Nº 482, a qual estabelece condições específicas para o acesso à microgeração e minigeração de energia elétrica e distribuir aos sistemas de distribuição, assim como um sistema de compensação de energia elétrica por ser fornecedor (ANEEL, 2012).

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade. É uma das tecnologias renováveis que vêm sendo cada vez mais utilizada nos países desenvolvidos (RUTHER, 2004). A conversão da energia solar em eletricidade ocorre de forma silenciosa, não emite gases e nem precisa de um operador para o sistema. Há apenas a componente luminosidade da energia solar (fótons) que é útil para a conversão fotovoltaica (TORRES, 2012).

Esta energia é gerada a partir da transformação de radiação solar em energia elétrica. Quando a luz solar atinge o painel (material constituído usualmente de semicondutores como o silício) promove a excitação dos elétrons nas células solares ou fotovoltaicas (ANEEL, 2005).

2.2 Energia solar no Brasil

Em 2012, como a ANEEL regulamentou o setor de micro e pequena geração distribuída de energia na resolução normativa nº 482/2012, tornou-se importante a participação da energia solar fotovoltaica no Brasil, o que promoveu um impacto disruptivo no setor de energia elétrica. Afirma o diretor Geral ANEEL: “*A geração distribuída equivale, no setor elétrico, à revolução do smartphone nas telecomunicações.*” (André Pepitone, 2019)

Antes desse marco regulatório, a tecnologia solar foi disseminada em comunidades e projetos de produção nas regiões norte, nordeste e centro, por meio da cooperação entre o Brasil, governos internacionais e organizações não governamentais (principalmente com a Alemanha e os Estados Unidos), a partir do início da década de 80 (BRAGA, 2008). Predominou o uso de bombeamento de água e eletrificação rural em locais sem acesso às redes tradicionais, preferencialmente comunidades rurais de baixa renda. (CIGRÉ-BRASIL, 2011).

Segundo a ANEEL, publicação de setembro de 2015, o consumidor brasileiro teve a possibilidade de geração própria de energia elétrica em 2012 por fontes renováveis ou cogeração qualificada. A partir deste momento a energia solar fotovoltaico começou a se destacar no cenário brasileiro. Na Resolução Normativa da ANEEL nº 482/2012 foi instituída regras para sistemas de geração de energia mini e micro distribuído e sistemas de compensação de energia. Três anos depois, a REN 687/2015 reduziu a burocracia envolvida na integração de energia de geração de energia à rede. O ciclo de aprovação dos sistemas fotovoltaicos é encurtado e o tempo de utilização do crédito do excedente gerado é alargado para 60 meses; e pode-se ser utilizado fora do local de geração (auto aproveitamento remoto).



2.3 Vantagens e desvantagens

A inovação trazida pela tecnologia fotovoltaica para a indústria de energia tem vantagens integradas: consciência socioambiental, sustentabilidade e economia financeira. Trazem benefícios importantes para o sistema de energia que se traduzem em (ANEEL, 2018):

- Adia a expansão dos investimentos em sistemas de transmissão e distribuição de energia;
- Baixo impacto ambiental;
- Reduz a carga da rede;
- Minimiza as perdas;
- Diversificação da matriz energética;

No entanto, também tem algumas desvantagens:

- Aumento da complexidade das operações de rede;
- Dificuldade na cobrança pelo uso do sistema elétrico;
- Impostos potenciais;
- Os procedimentos para que os distribuidores operem, controlem e protejam suas redes precisam ser alterados.

O Brasil tem um modelo de geração baseado em grandes usinas, às quais necessitam de grande aporte financeiro para construção e ficam distantes dos locais de consumo. Há necessidade de mais investimento para fazer chegar a energia elétrica ao destino final (MME, RELATÓRIO ProGD, 2015). Em contraponto a esse modelo, a geração distribuída está próxima ao local de consumo, reduz custos e perdas. Além disso, a diversificação da matriz energética pode preservar os recursos hídricos, ao evitar o acionamento das usinas termelétricas (POMPERMAIER; DANTAS; IPEA, 2018).

2.4 Energia Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica pode ser definida como a eletricidade gerada por radiação solar, que é uma importante fonte de energia limpa e renovável. Quanto maior a radiação solar, maior a quantidade de eletricidade gerada. Mesmo em dias nublados ou chuvosos, a energia fotovoltaica pode ser gerada, mas a intensidade é baixa. A luz solar é absorvida por células fotovoltaicas, que são pequenas estruturas que formam painéis solares e são instaladas em locais com luz solar. A luz que chega à célula fotovoltaica está repleta de fótons, partículas que irradiam constantemente do sol. Os fótons reagem com essas baterias e estimulam os elétrons presentes no silício, isto faz com que eles se movam e a eletricidade é gerada a partir deste deslocamento dos elétrons. Nas instalações solares fotovoltaicas o módulo solar fotovoltaico é a célula básica do sistema gerador (IMHOFF, 2007).

O princípio de funcionamento desta tecnologia está baseado na conversão da energia solar em energia elétrica através dos efeitos da radiação sobre materiais semicondutores (BAGNALL; BORELAND, 2008). Esta conversão pode ocorrer a partir de dois efeitos físicos conhecidos como o efeito termoelétrico e o efeito fotovoltaico. O



primeiro caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, em condições específicas. No segundo, os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica por meio do uso de células solares (NEMET, 2006). Atualmente grande parte das células fotovoltaicas, presentes em placas e painéis fotovoltaicos vendidos no mercado, possuem em sua composição base a presença do elemento químico Silício (Si) e pode ser constituída de cristais monocristalinos, policristalinos ou de silício amorfo (CRESESB, 2006).

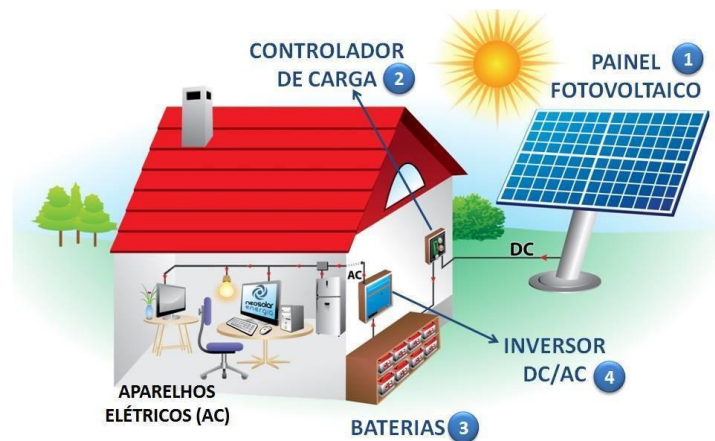
Portanto, ocorre o efeito fotovoltaico no interior das células solares, que pode ser descrito como o processo físico pela conversão de luz solar em eletricidade em uma célula fotovoltaica. A luz solar possui fótons em sua composição, os mesmos possuem grande quantidade de energia, que correspondem aos seus respectivos comprimentos de onda do espectro solar. Os fótons podem ser refletidos, absorvidos ou atravessarem as células fotovoltaicas ao irem a seu encontro. Geram eletricidade somente aqueles que são absorvidos, sua energia é transferida a um elétron de um átomo da célula. Com essa nova energia, o elétron sai de sua posição original no átomo para tornar parte da corrente, em um circuito elétrico. Deixando sua posição inicial, o elétron deixa uma "lacuna" para que outro elétron possa ocupar. Propriedades especiais das células fotovoltaicas, um campo elétrico nela embutido, fazem com que a corrente produza uma diferença de potencial para que haja corrente em uma carga externa (PEREIRA, 2006).

Logo após esse processo de conversão da energia solar em energia elétrica, duas configurações de equipamento são possíveis, depende se o sistema é conectado ou isolado da rede elétrica. No caso de sistemas isolados, a energia elétrica é feita o controle de tensão e corrente em um controlador de carga, conduzida e processada no inversor. Ocorre a conversão da energia elétrica contínua em alternada e é utilizada para alimentação de aparelhos eletroeletrônicos. O excedente da energia pode ser armazenado nas baterias, para ser utilizada em horários de consumo de pico ou quando não ocorre radiação (MASON; MILLER, 2016). Ao se tratar de sistemas conectados à rede, a energia elétrica é conduzida diretamente para um inversor. Converte a corrente contínua em alternada e é possível a utilização desta energia pelo consumidor. Quando esta energia produzida não for utilizada ela é mensurada em um segundo relógio de geração ou em um relógio bidirecional instalado na residência pela concessionária de energia (MASON; MILLER, 2016).

2.5 Sistema Off-grid

Alves (2019) ressalta, que os sistemas isolados ou autônomos para geração de energia elétrica são conhecidos como off-grid e tem como principal característica sua desconexão com a rede elétrica de distribuição de energia. Portanto, estabelece alimentação direta aos aparelhos interconectados a ele. Esses sistemas geralmente tem um propósito específico, assim como em locais fora de alcance da distribuidora local, conforme a figura 1.

Figura 1 – Sistemas fotovoltaicos Off Grid



Fonte: Neosolar, 2021

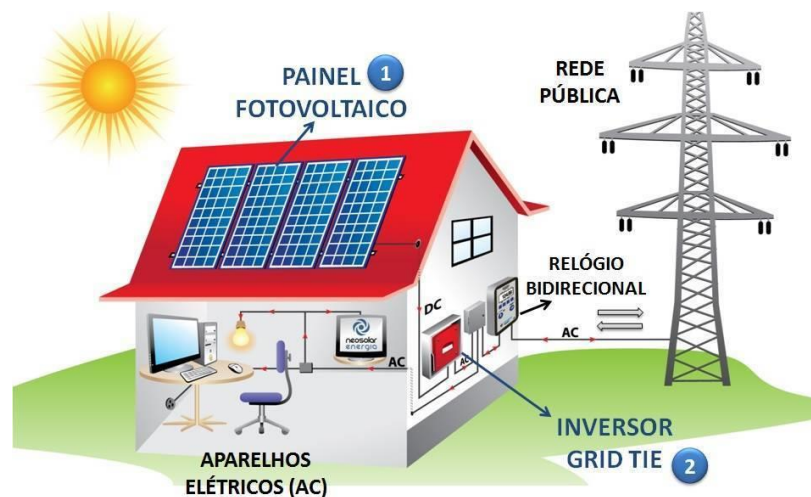
Souza e Zamperim (2017) dizem que os sistemas isolados de geração de energia solar fotovoltaica, de maneira simplificada, são compostos de quatro componentes:

- Painéis solares ou placas solares: o sistema que gera energia elétrica pode ter apenas um painel ou vários painéis interligados entre si.
- Controladores de carga: garantem o correto abastecimento das baterias ao evitar sobrecargas e descargas profundas e aumenta sua vida útil.
- Inversores: tem a função de transformar corrente contínua (CC) em corrente alternada (AC), e levar a tensão, por exemplo, de 12V para 127V. Em alguns casos pode ser ligado a outro tipo de gerador ou à própria rede elétrica para abastecer as baterias.
- Baterias: Sistema de armazenamento de energia elétrica para ser utilizada nos momentos em que o sol não esteja presente e não haja outras fontes de energia.

2.6 Sistema On-grid

A utilização do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR ou on-grid) surgiu nos anos 90, na Alemanha, caracterizado por ser conectado com a Rede Elétrica da Concessionária. Neste tipo de sistema, a energia gerada é diretamente utilizada pelo consumidor. Nos sistemas on-grid, haverá o fornecimento de energia à concessionária, quando existir a produção de energia elétrica maior que a consumida. A geração fotovoltaica não só possui maior destaque na obtenção sustentável de energia, como também possui uma eficiente aplicação no Brasil, que é um país com alto e constante índice de irradiação solar (Macedo,2012). Sistema apontado na figura 2.

Figura 2 – Sistemas fotovoltaicos On grid



Fonte: Neosolar, 2021.

De acordo com o Greenpro (2004), o sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) é composto, normalmente, pelos seguintes componentes: gerador fotovoltaico, caixa de junção, cabos CC-CA, inversor de frequência, mecanismos de proteção e aparelhos para medições. O inversor deve satisfazer às exigências de qualidade e segurança para que não afete a rede distribuição.

3 Metodologia

3.1 Dimensionamento

Feita uma estimativa de consumo energético em KWh/mês e convertida em custos reais com base na fornecedora do estado ENERGISA, logo após foi feito o dimensionamento do sistema on-grid para a mesma. Os estudos para este dimensionamento foram baseados em pesquisa bibliográfica, através de artigos científicos e outras bibliografias.

Para o dimensionamento foi necessário coletar: dados de área disponível para instalação e posicionamento dos painéis solares, quantidade de irradiação solar diária média mensal na região da unidade consumidora, pelo programa sundata que é disponibilizado no site da CRESESB (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sergio Brito) e o perfil de consumo energético do cliente em KWh/mês. Finalmente, o dimensionamento se dividiu em etapas.

3.1.1 Identificar o local de estudo

Análise do local determinado de edificação da residência, para contribuir na estimativa da área disponível para o dimensionamento e possíveis sombreamentos. De acordo com os itens descritos nos apêndices A, B, C e D.

3.1.2 Irradiação solar



Segundo o Atlas brasileiro de energia solar (2017), o Mato Grosso do Sul dispõe do segundo maior índice de radiação do Brasil, com média entre 5,25KWh/m².dia a 5,7KWh/m².dia. Para obter o real potencial energético da região foi necessário a utilização do sundata, um programa que se destina ao cálculo da irradiação solar diária média mensal de qualquer ponto territorial nacional e encontra-se no site do Centro de Referência Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB).

Ainda se fez necessário obter o número de horas de sol pleno (HSP) na região a ser estudada, pois representa o maior número de horas por dia que a radiação permanece constante e igual a 1 KW/m². Utilizando a média mensal de irradiação solar diária coletada pelo sundata, aplicamos na equação 1 para estipular a quantidade de HSP.

$$HSP \left(\frac{h}{dia} \right) = \frac{irradiação}{1KW/m^2} \quad \text{(Equação 1)}$$

3.1.3 Dados do consumo energético

Para obter a geração ideal, subtrai o custo de disponibilidade fornecido pela concessionária na equação 2. A sua variação de acordo com a ligação residencial, ou seja, 30KW/h para monofásico, 50KW/h para bifásico e 100KW/h para trifásico.

$$GI = CM - CD \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

GI = Geração ideal;

CM = Consumo mensal

CD = Custo de disponibilidade

3.1.4 Determinar o painel fotovoltaico on-grid

Na escolha do painel correto foram levadas em consideração suas especificações técnicas: sombreamento, modelo de fabricação, eficiência energética, tolerância de potencial, orientação e ângulo de inclinação, perdas de carga, qualidade da moldura e garantia no arranjo fotovoltaico. Afim de utilizar um material com maior qualidade, com melhor eficiência e reduzir todo tipo de futuros custos não essenciais.

3.1.5 Selecionar inversor ou micro inversor

Extrema atenção para a escolha ser correta, pois foi necessário ser compatível com a potência de pico do painel solar fotovoltaico. Existem alguns parâmetros básicos a serem seguidos como: tensão nominal, sombreamento, monitoramento, redundância, modularidade, orientação dos painéis. Comparação de acordo com a Tabela 01:

Tabela 01 – Características de inversores

Características	Inversor tradicional	Microinversores
Tensão nominal	Opera em alta tensão	Opera em alta tensão
Sombreamento	Um painel com	O painel com

	sombreamento afeta o sistema todo	sombreamento só afeta o painel em questão
Monitoramento	Monitora o sistema como um todo	Monitora cada painel de maneira individual
Redundância	Um painel apresentar falha, todo o sistema estará comprometido	Um painel apresentar falha, o sistema não será afetado
Modularidade	Expansão limitada pelo dimensionamento do sistema	Expansão facilitada porque cada painel é independente do todo
Orientação dos painéis	Todos os painéis com a mesma orientação	Permite posicionamento e orientação diferentes

Fonte: Portal solar, 2021.

3.1.6 Potência de pico do painel fotovoltaico

Tem a função de estimar a potência máxima suportada pela fonte de alimentação. E pode ser calculada com a equação 3.

$$P_{fv} (W_p) = \frac{(E/TD)}{HSP_{ma}} \quad \text{(Equação 3)}$$

Onde:

$P_{fv} (W_p)$ = Potência de pico do painel fotovoltaico;

$E (Wh/dia)$ = Consumo diário médio anual da edificação ou fração deste (descontado o valor mínimo de disponibilidade de energia);

$HSP_{ma} (h)$ = Média diária anual de horas de sol plena (HSP) incidente no plano do painel fotovoltaico;

TD (adimensional) = Taxa de desempenho;

Segundo Pinho e Galdinho (2014), a taxa de desempenho para sistemas on-grid sem sombreamento e nas condições de radiações solares do Brasil giram em torno de 70 a 80%.

3.1.7 Número de módulos fotovoltaicos

Usa-se a equação 4 para determinar uma estimativa de módulos fotovoltaicos, observando as máximas potências dos módulos.

$$QTD_{painéis} = \frac{P_{fv} (W_p)}{P_{painel}} \quad \text{(Equação 4)}$$

Onde:

$QTD_{painéis}$ = Quantidade de painéis solares fotovoltaicos;

$P_{fv} (W_p)$ = Potência de pico;

P_{painel} = Potência.



3.1.8 Geração fotovoltaica esperada

Obtemos uma estimativa da quantidade de energia a ser gerada com a utilização da equação 5.

$$GT = \sum_{t=0}^n I_o . A . \eta$$

(Equação 5)

Onde:

GT = Geração total;

n = Número de dias no mês;

I_o = Radiação média diária do mês em KWh/m²dia;

A = Área total dos módulos fotovoltaicos;

η = Eficiência do painel

3.1.9 Viabilidade econômica do sistema on-grid

Consegue-se finalmente, ao utilizar a equação 8 ter uma estimativa do período de retorno do investimento aplicado.

$$Payback = \frac{VS}{CM}$$

12

(Equação 6)

Onde:

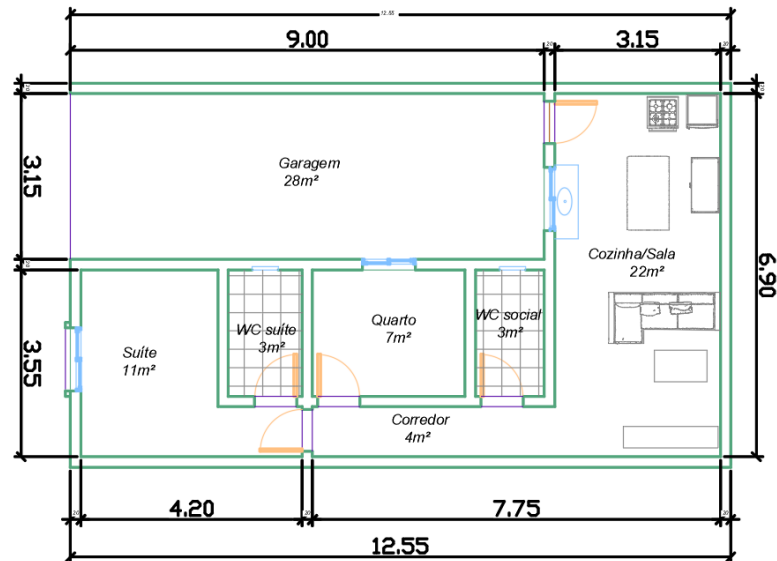
VS= Valor total do sistema

CM= Consumo mensal

3.2 Características da residência unifamiliar

O imóvel possuirá aproximadamente 92m², distribuído oito ambientes em sua composição: cozinha, corredor, garagem, sala, suíte, quarto, WC social e WC suíte. A residência será edificada no município de Eldorado, Mato Grosso do Sul. Sua planta baixa pode ser vista na Figura 3:

Figura 3: Planta baixa residência unifamiliar em Eldorado/MS



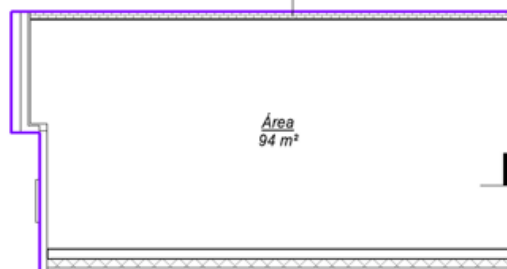
Fonte: elaborada pelo próprio autor.

4 Resultados

4.1 Local de estudo

A área de estudo está localizada na cidade de Eldorado, no estado do Mato grosso do Sul. Uma residência unifamiliar, com: Latitude: -23.7763 Longitude: -54.2774. Como a residência ainda não está edificada foi utilizada a planta de cobertura para disposição de área disponível para o SFCR. De acordo com a figura 4:

Figura 4: Planta de cobertura



Fonte: elaborada pelo próprio autor.

4.2 Dados coletados de irradiação solar

Realizou-se coletas dos dados da irradiação solar diária média mensal, no plano horizontal e inclinado da região de Eldorado – MS, ambos advêm do banco de dados da CRESESB pelo programa sundata. A tabela 02 e figura 5 identificam-se e proporcionam uma análise mais detalhada desses valores.

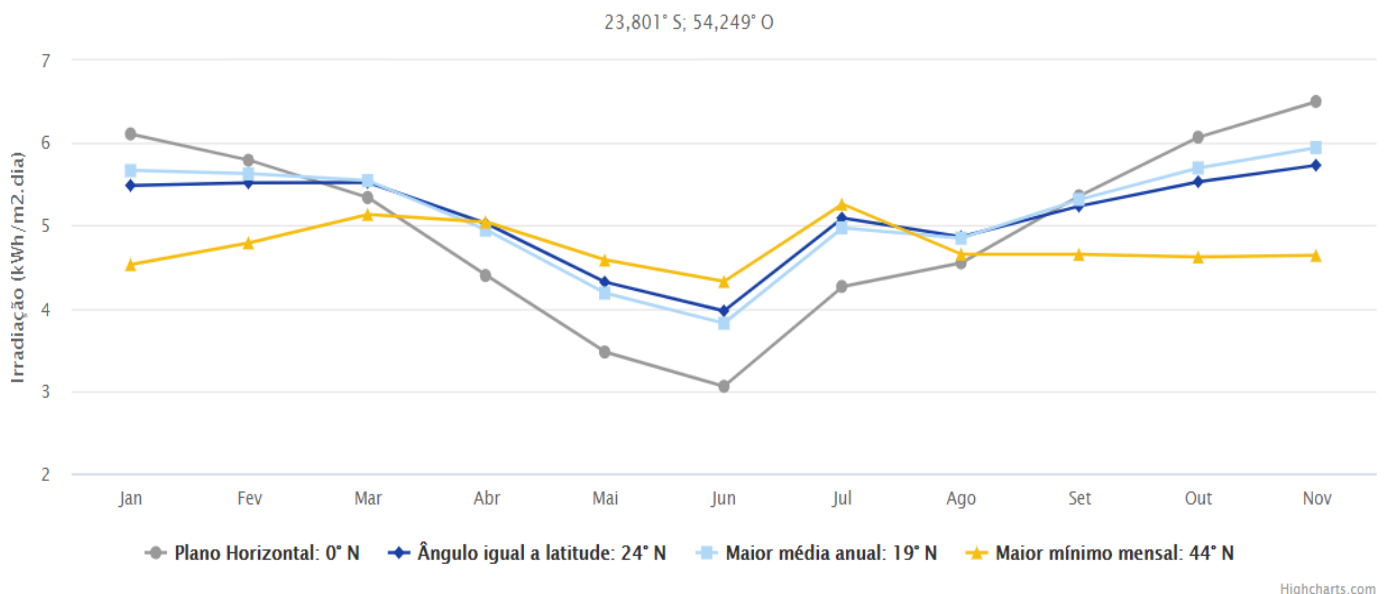
Tabela 02 – Dados da irradiação solar diária média mensal no município de Eldorado – MS em 2021

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [KWh/m ² .dia]												
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Plano Horizontal	0° N	6,11	5,79	5,34	4,4	3,47	3,06	3,26	4,26	4,55	5,36	6,07	6,5	4,85
Ângulo Igual a Lat	24° N	5,49	5,52	5,52	5,02	4,32	3,97	4,16	5,09	4,86	5,24	5,53	5,73	5,04
Maior média atual	19° N	5,67	5,63	5,54	4,95	4,18	3,82	4,02	4,97	4,85	5,32	5,7	5,94	5,05
Maior min mensal	44°N	4,53	4,79	5,14	5,04	4,58	4,33	4,49	5,26	4,66	4,65	4,62	4,64	4,73

Fonte: CRESESB,2021

A tabela demonstra que a maior média de irradiação solar foi encontrada em 19° N, portanto esse valor foi aplicado as equações seguintes com a intenção de alcançar a maior eficiência possível.

Figura 5 - Irradiação solar diária média mensal no plano horizontal e inclinado em KWh/m²/dia no município de Eldorado – MS



Fonte: CRESESB,2021

4.3 Estimativa do consumo energético do local de estudo

Para apresentação de um resultado mais real possível foram selecionados os eletrodomésticos necessários para residência e calculado o consumo no período de um mês. Foi utilizado um acréscimo final de 10% do valor total para futuras variações do consumo mensal e obtenção de um sistema com geração maior do que o consumo determinado para mais conforto à família. A tabela 3 demonstra o consumo energético encontrado, foi utilizado a equação 9 para o obter as seguintes informações:

$$\frac{\text{Potência do equipamento (W)} \times \text{N}^{\circ} \text{ de horas utilizadas} \times \text{N}^{\circ} \text{ de dias de uso ao mês}}{1.000}$$

(Equação 9)

Tabela 03 – Consumo energético mensal

Tabela de consumo dos eletrodomésticos				
Eletrodoméstico	W	h/dia	dias/mês	KW/mês
Aspirador de pó	1.600	20 min	30	16
Ar condicionado	1.085	9h	30	293
Barbeador	5	20 min	10	0,0165
Batedeira	500	20 min	8	1,35
Cafeteira	600	1h	30	18
Chuveiro	6.800	40 min	30	136
Computador	400	6h	30	72
Ferro elétrico	1.200	1h	12	14,4
Forno elétrico	1.500	1h	8	12
Geladeira 2 portas	115	24h	30	56
Gril/Air fryer	1.400	30 min	15	7
Lâmpadas	24	10h	30	7,2
Lavadora de roupas	550	90min	15	11
Liquidificador	1.000	15min	15	2,5
Monitor LCD	80	6h	30	14,4
Notebook	30	4h	30	3,6
Prancha (chapinha)	1.600	30 min	20	10,65
Roteador	7	24h	30	5
Sandueira	800	10 min	30	2,6

Secador de cabelos	1.000	10 min	30	3,33
TV LCD 42"	250	8h	30	60
PS5 (Videogame)	200	4h	30	24

Fonte: elaborada pelo próprio autor, 2021.

O consumo mensal da residência, portanto, baseará em aproximadamente 770 Kwh/mês. Segundo a Energisa, concessionária de energia do Mato Grosso do Sul, o KWh tem valor mínimo de 0,61108 centavos para residências com o consumo acima de 220KWh. O custo real da residência poderá atingir aproximadamente 470.5 R\$ quatrocentos e setenta reais e cinquenta centavos mensais e possuirá uma rede trifásica. Ao aplicar a equação 2, gera um resultado estimado para geração ideal de energia de 670 KWh/mês, sendo equivalente a 22,33 KWh/dia.

$$GI = 770 - 100 \text{ (trifásico)}$$

$$GI = 670 \text{ KWh/mês}$$

Ao considerar a necessidade de supressão de custos tarifários ou projeções de aumento do consumo de eletrodomésticos e outros equipamentos para melhorar o conforto do lar e incluir créditos de energia. Como fator de segurança, pela residência não possuir dados existentes, é utilizado um fator otimizado em 10%. Portanto, o valor dos resultados será adotado de 737 KWh/mês e 24,56 KWh/dia.

4.4 Determinar o tipo do painel fotovoltaico on-grid

Foram escolhidos os painéis monocristalinos da Jinko para o dimensionamento. A Jinko Solar (JinkoSolar Holding Co., Ltd), é uma das maiores fabricantes de painéis solares do mundo e tem sua sede em Xangai, China. Os painéis possuem garantia de 12 anos para o produto e de 25 a 30 anos de potência linear dependendo do modelo, possuem também uma degradação de 0,5% anualmente. A tabela 03 demonstra as especificações:

Tabela 04 – Especificações painel fotovoltaico Jinko

Fabricante	Jinko Solar
Modelo	Tiger Pro Mono 460W
Tensão Máxima do Sistema	1500V
Formato	1903 mm x 1134 mm x 30 mm
Peso	24,2 kg ± 5 %
Célula	P-Type monocristalina
Caixa de junção	Classe de proteção IP68
Potência no ponto máximo	460W
Tensão no ponto máximo	34,20V
Corrente no ponto máximo	13,45A

Tensão em Circuito Aberto	41,48V
Corrente de Curto Circuito	14,01A
Eficiência	21,32%
Tolerância de potencias positiva	0~+3W

Fonte: Aldo solar, 2021.

Para melhor rendimento dos módulos se faz necessário posicionar os painéis em direção ao Norte, com ângulo de inclinação igual a latitude de 19° N, disposto pelo programa sundata do CRESESB.

4.5 Potência de pico do painel fotovoltaico

Adotou-se uma taxa de desempenho (TD) de 97,5% para este cálculo, que corresponde com a redução de 0,5% ao ano da eficiência dos painéis mais a perda de 2% do primeiro ano, conforme a garantia de desempenho linear da Jinko. Utilizou-se os resultados do consumo diário médio anual de 24,56 KWh/dia e HSPma de 5,05 horas na equação 3. Portanto, a potência de pico dos painéis é de 4,99 KWh.

$$P_{fv}(W_p) = (24,56 / 0.975) / 5,05$$

$$P_{fv}(W_p) = 4,99$$

4.6 Escolha do inversor

Optou-se por escolher um inversor da Growwat, que são líderes no mercado pela sua alta eficiência e rentabilidade. As especificações do modelo escolhido MIN5000TL-X, estão descritas na tabela 5:

Tabela 05 – Informações técnicas do inversor

Modelo	MIN5000TL-X
Tensão máx. de entrada	550 VCC
Área de tensão MPP	80~550 VCC
Tensão nominal de entrada	360 VCC
Corrente DC por MPPT	12.5A
Rastreadores de MPP	2
Arranjo por MPPT	1
Potência nominal de saída	5KW
Tensão nominal	230V (160V-300V)
Frequência nominal	50, 60Hz
Faixa de frequência	57~63
Corrente máx. de saída	22.7A
Eficiência máxima	98.4%
Monitoramento	datalogger Wireless incluso

Fonte: Aldo solar, 2021.

4.7 Estimativa do número de módulos fotovoltaicos

Após determinar a potência de pico dos painéis, obtêm-se quantos painéis serão necessários para atender o sistema. Aplicando a equação 4, obteve o resultado de 10,84 painéis. Entretanto foi decidido adotar a quantidade de 12 módulos de 460W para uma melhor experiência e conforto.

$$\begin{aligned} \text{QTDpainéis} &= 4.990/460 \\ \text{QTDpainéis} &= 10,84 \end{aligned}$$

4.8 Geração fotovoltaica esperada

Constatou-se para o sistema que a produção média em KWh será de aproximadamente 836,44 mensalmente. Demonstra a equação 5:

$$\begin{aligned} \text{GT} &= 30 * 5,05 * (1,903 * 1,134 * 12) * 0,2132 \\ \text{GT} &= 836,44 \text{ KWh/mês} \end{aligned}$$

4.9 Viabilidade econômica do sistema fotovoltaico

Inicia-se um levantamento de custos do investimento com o SFCR. Constatou-se que o sistema possuirá 12 painéis solares de 460W da fabricante Jinko e 1 inversor MIN5000TL-X da fabricante Growwat, equipado com uma potência de pico de 4,99KWh.

Na determinação dos valores reais, demais equipamentos e materiais foram utilizados as informações disponibilizadas pela empresa Aldo Solar, localizada em Maringá, no estado do Paraná. A tabela 6 demonstra os valores encontrados:

Tabela 06 – Materiais para SFCR

Equipamentos e serviços	Quantidade	Custo(R\$)
STAUBLI CONECTOR	18	16,8
CABO SOLAR NEXANS 100m	120m	1000
INVERSOR SOLAR	1	5.189
ESTRUTURA SOLAR ROMAGNOLE	12	600
STRING BOX MERZ DEHN	2	1.219
PAINEL SOLAR JINKO	12	1.569
MÃO DE OBRA LOCAL		7.000
		Total= 36.973,59

Fonte: Aldo solar, 2021.

O investimento apresentou o valor aproximado de R\$36.973,59. Deve-se ter em mente a garantia de 12 anos contra defeitos de fábrica para os módulos fotovoltaicos e de 25 anos para perda de eficiência. O Payback se apresenta em torno de 6,5 anos para quitação do SFCR, e gera lucros ao proprietário. Como demonstra a equação 6:

$$\begin{aligned} \text{Payback} &= \frac{36.973,59}{470,5} \\ &= 12 \\ \text{Payback} &= 6,5 \text{ anos} \end{aligned}$$

Utiliza-se a geração esperada do sistema de 836,44 KWh/mês, com a perda de eficiência em 0,5% ao longo de 25 anos, e apresenta uma geração de aproximadamente 832,25 KWh/mês a partir do primeiro ano. Com os valores fornecidos pela ENERGISA, obtém um lucro de R\$ 498,35 ao mês, isto é, um lucro de R\$4.264,89 no primeiro ano após o sistema quitado e lucro de R\$103.894,53 até o fim da garantia de eficiência de 25 anos. Apresenta a tabela 7:

Tabela 07 – Payback do SFCR

ANO	Consumo mensal CM(R\$)	Geração total GT(R\$)	GERAÇÃO ANUAL	FLUXO DE CAIXA
1	470,5	498,35	5.980,20	36.973,59-5.980,20= - 30.993,39
2	470,5	495,85	5.950,20	30.993,39-5.950,20= - 25.042,95
3	470,5	493,37	5.920,44	25.042,95 - 5.920,44= - 19.122,51
4	470,5	490,91	5.890,92	19.122,51 - 5.890,92 = - 13.231,59
5	470,5	488,45	5.861,40	13.231,59 - 5.861,40 = - 7.370,19
6	470,5	486,01	5.832,12	7.370,19-5.832,12= -1.538,07
7	470,5	483,58	5.802,96	1.538,07 - 5.802,96 = +4.264,89
8	470,5	481,16	5.773,92	10.038,81
9	470,5	478,76	5.745,12	15.783,93
10	470,5	476,36	5.716,32	21.500,25
11	470,5	473,98	5.687,76	27.188,01
ANO	Consumo mensal CM(R\$)	Geração total GT(R\$)	GERAÇÃO ANUAL	FLUXO DE CAIXA
12	470,5	471,61	5.659,32	32.847,33
13	470,5	469,25	5.631,00	38.478,33
14	470,5	466,91	5.602,92	44.081,25
15	470,5	464,57	5.574,84	49.656,09
16	470,5	462,25	5.547,00	55.203,09
17	470,5	459,94	5.519,28	60.722,37
18	470,5	457,64	5.491,68	66.214,05
19	470,5	455,35	5.464,20	71.678,25
20	470,5	453,07	5.436,84	77.115,09
21	470,5	450,81	5.409,72	82.524,81
22	470,5	448,56	5.382,72	87.907,53
23	470,5	446,31	5.355,72	93.263,25

24	470,5	444,08	5.328,96	98.592,21
25	470,5	441,86	5.302,32	103.894,53

Fonte: Elaborada pelo próprio autor, 2021.

A tabela 7 descreve somente a quantidade a ser gerada durante o tempo de garantia da fábrica sobre sua eficiência. O sistema continuará a gerar energia, porém com os custos de manutenção totalmente voltados ao proprietário.

5 Considerações finais

O objetivo do trabalho foi realizar o dimensionamento do sistema fotovoltaico on-grid e demonstrar sua eficiência para uma residência unifamiliar no município de Eldorado/MS. Foram estabelecidas 9 etapas para o dimensionamento completo do sistema on-grid e encontrados resultados que indicam a utilização de 12 painéis fotovoltaicos de 460W, com apenas um inversor Growwat, uma potência de pico de 4,99KWh para o posicionamento direcionado ao norte magnético e inclinação dos módulos igual a latitude de 19°N.

O sistema dimensionado proporcionará compensações energéticas ao cliente, ao gerar créditos em períodos de baixa produção. O investimento inicial atingiu valores aproximados de R\$36.973,59 e seu retorno financeiro se encontrará a partir do sétimo ano após sua instalação.

Portanto, a análise de viabilidade econômica mostra que o resultado para o projeto do sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) apresenta resultados coerentes e têm vantagens óbvias.

6 Referências

ALDO SOLAR. **Gerador de energia solar growwat ondulada romagnole aldo solar on grid**. 2021. Disponível em: <https://www.aldo.com.br/produto/146297-4/gerador-de-energia-solar-growatt-ondulada-romagnole-aldo-solar-on-grid-gf-46kwp-jinko-tiger-pro-mono-460w-min-5kw-2mppt-mono-220v>

ALVES, Marliana de Oliveira Lage. **Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid**. Minas Gerais, UFOP, 2019.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Geração distribuída: SISGD.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Revisão das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída** – Resolução Normativa nº 482/2012 Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº 0004/2018-SRD/SCG/SMA/ANEEL.

Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), 2017.



BAGNALL, Darren M.; BORELAND, Matthew Benjamin. **Photovoltaic technologies**. Energy Policy, 1487701794, v. 36, n. 12, p. 4390-4396, Dec 2008. ISSN 0301-4215.

BRAGA, R. P. **Energia Solar Fotovoltaica: fundamentos e aplicações**. 2008.

CIGRE, Comitê Nacional Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica CIGRE-Brasil; **Relatório de estudo: Geração Fotovoltaica de Energia no Brasil**, 2013.

CRESESB. **Princípios e Aplicações**. ELETROBRAS. Rio de Janeiro: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica 2006.

CRESESB, potencial solar – Sundata v 3.0. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>

DANTAS, Stefano Giacomazzi.; POMPERMAYER, Fabiano Mezadre. **Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos e Possíveis Efeitos No Setor Elétrico – IPEA - 2018**.

Grätzel, Michael. **Photoelectrochemical cells**. Nature 2001, 414, 338.

GREENPRO. **Energia Fotovoltaica: Manual sobre tecnologias, projeto e instalação**. 2004.

IMHOFF, Johninson. **Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos**. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007.

CANAL SOLAR. **Jinko solar especificações**. 2021. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/jinko/#1654-1647-wpfd-folhas-de-dados-1611065610>.

KOMP, Richard J. **Practical photovoltaics: eletricity from solar cells**, 3a. ed., aatec publications: Ann Arbor, 2001.

LOPES, Paulo Henrique Silvestre. **Nota Técnica nº 0043/2010-SRD/ANEEL**. Setembro, 2010.

MACÊDO, Wilson Negrão. et al. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo, Oficina de Textos. 2012

MASON, Ian G.; MILLER, Allan J. V. **Energetic and economic optimisation of islanded household-scale photovoltaic-plus-battery systems**. Renewable Energy, 1487701795, v. 96, p. 559-573, Oct 2016. ISSN 0960-1481.

MME, Ministério De Minas E Energia. **Estudo E Propostas De Utilização De Geração Fotovoltaica Conectada À Rede, Em Particular Em Edificações Urbanas**. Portaria n.º 36, de 26 de novembro de 2008.



NEMET, Gregory F. **Beyond the learning curve: factors influencing cost reductions in photovoltaics**. Energy Policy, 1487701795, v. 34, n. 17, p. 3218-3232, Nov 2006. ISSN 0301- 4215.

NEOSOLAR. **Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes**. 2021. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>

PEREIRA, Enio Bueno; ABREU, Fernando Luna de; RÜTHER, Ricardo. **Altas Brasileiro de Energia Solar**. INPE. São José dos Campos 2006.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marcos Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2014.

PORTAL SOLAR. **Micro inversor solar grid tie**. 2021. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/micro-inversor-solar-grid-tie.html>

REIS, Pedro. **Portal energia: energias renováveis**. Set, 2018. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/vantagens-desvantagens-painel-solar-termico-circulacao-forcada-termossifao/>

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Editora UFSC, 2004. Florianópolis. Labsolar, 2004.

SCHERER, Lara Almeida; SESSEGOLO, Maria Eduarda Donatto; BARCAROLO, Taylana Borba; EDLER, Marco Antônio Ribeiro. **Fonte alternativa de energia: energia solar**. UNICRUZ, 2015.

SILVA, Julierme Siriano da; FERREIRA, Alan Henrique Rios; ZUROKOWSKI JR, Joel Carlos. **Estudo de viabilidade econômica de microgeração de energia solar integrada à rede na UFT campus Gurupi -TO**. In: Rev. Cereus v. 9 n. 1 p. 88-105, 2017.

SILVA, Alexandre da et al. **Energia fotovoltaica no brasil: uma revisão de literatura**. PI – Pesquisa e Inovação, Guarapuava, v. 1, n. 1, p. 100-115, jan./jun. 2019.

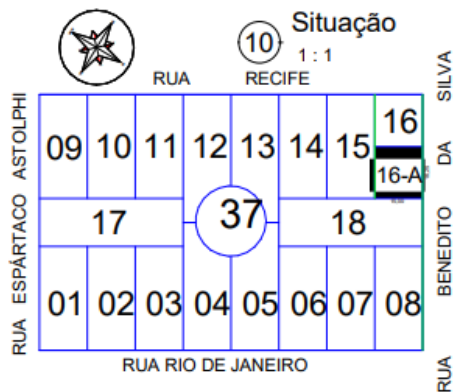
Souza, Tamires Lopes de; Zamperim, João Luiz Bergamo; **Análise e dimensionamento de um sistema fotovoltaico off-grid em um food truck**. Toledo: Revista engenharia em ação UniToledo, 2017.

Smestad, Greg P. **Optoelectronics of solar cells**, 1a. ed., SPIE: Bellingham, 2002.

TORRES, Regina Célia. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. Dissertação de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica na área de concentração em térmica e fluidos. USP, São Carlos, 2012

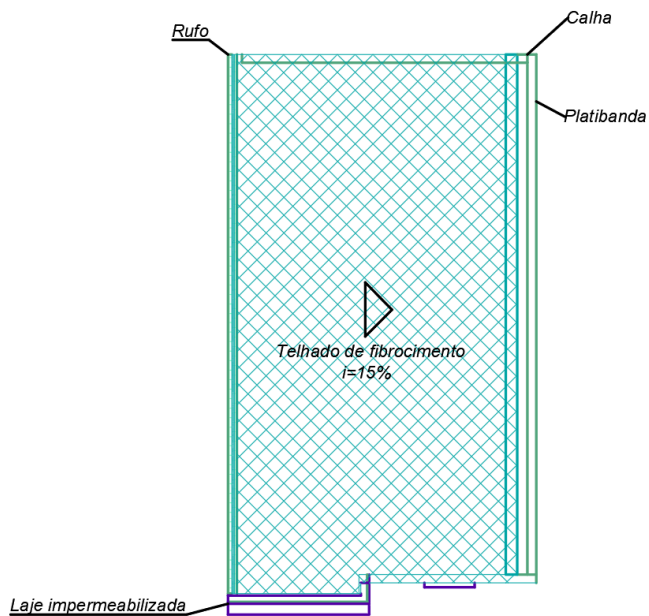
Apêndices

Apêndice A - planta de situação



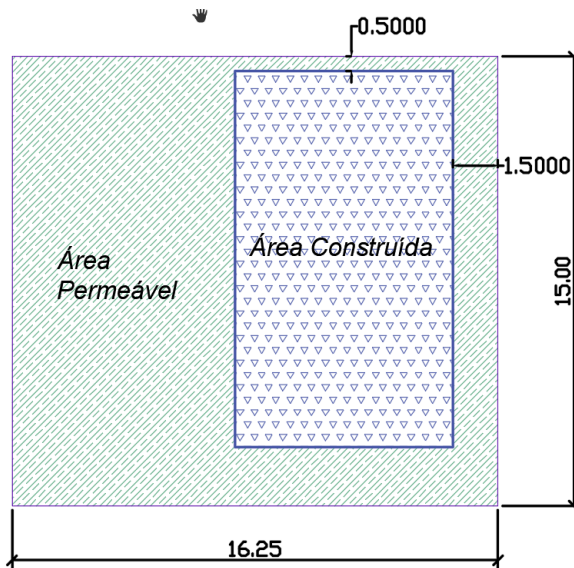
Fonte: elaborada pelo próprio autor, 2021.

Apêndice B - planta de cobertura



Fonte: elaborada pelo próprio autor, 2021.

Apêndice C - Planta de implantação



Fonte: elaborada pelo próprio autor, 2021.

Apêndice D - Localização via satélite



Fonte: elaborada pelo próprio autor, 2021.