

ENERGIA FOTOVOLTAICA: GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA SUSTENTÁVEL

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.14.23.X-009>

Leandro Ponciano da Rosa (*), Nádia Teresinha Schröder, Renata farias Oliveira

* Universidade Luterana do Brasil, Celesc distribuição - Centrais elétricas de Santa Catarina,
ambie.engenharia@gmail.com

RESUMO

O crescimento populacional e industrial gerou um aumento significativo no consumo de energia elétrica e consequentemente na conta vinculada a ela. Por isso, as empresas buscam alternativas eficientes e com bom rendimento financeiro, para se manter no mercado de forma sustentável, diminuindo seus custos de produção e aumentando seus lucros sem agredir o meio ambiente. Neste contexto, a busca por energias renováveis também vem aumentando e instalações de sistemas energia fotovoltaica vem crescendo consideravelmente no Brasil e no mundo pelo aumento da sua credibilidade em função de novas tecnologias, eficiência, ausência de ruído na geração e nenhum impacto ambiental durante a geração de energia. Buscando apresentar uma alternativa sustentável, com baixo impacto ambiental, economicamente viável e que amenize os custos com energia elétrica da população, empresas e órgãos públicos, este trabalho traz o estudo de viabilidade de instalação de um sistema de geração de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos em uma empresa localizada na cidade São Leopoldo, RS. Foi descrita a metodologia aplicada ao projeto para viabilizar tecnicamente a instalação de um sistema de geração fotovoltaica de energia elétrica conectado à rede, indicando o tempo de retorno do investimento no sistema e sua rentabilidade, análises técnicas para o funcionamento adequado e características dos equipamentos utilizados. Foi realizado um estudo de viabilidade técnica e econômica do uso desse tipo de energia, para uma empresa e o processo se mostrou viável e com capacidade de retorno financeiro.

PALAVRAS-CHAVE: Energia renovável, Sustentabilidade, Fotovoltaico, Energia limpa.

INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional e de indústrias há uma demanda de aumento de uso de energia elétrica. Por isso há necessidade de se utilizar fontes renováveis de energia para suprir o necessário e ao mesmo tempo visar a preservação do meio ambiente. Ao analisar a matriz energética brasileira observa-se que as hidroelétricas são a principal fonte de energia do território nacional (65,2%), seguida pela queima de biomassa e eólica e pelas outras formas de energia renovável (Figura 1) (ABSOLAR, 2022). O Brasil possui sua matriz energética bem diversificada, no entanto diminuir a queima de combustíveis para produção de energia é essencial. Além disso, com o aumento da escassez de água, usinas renováveis se tornam indispensáveis diante desse cenário.

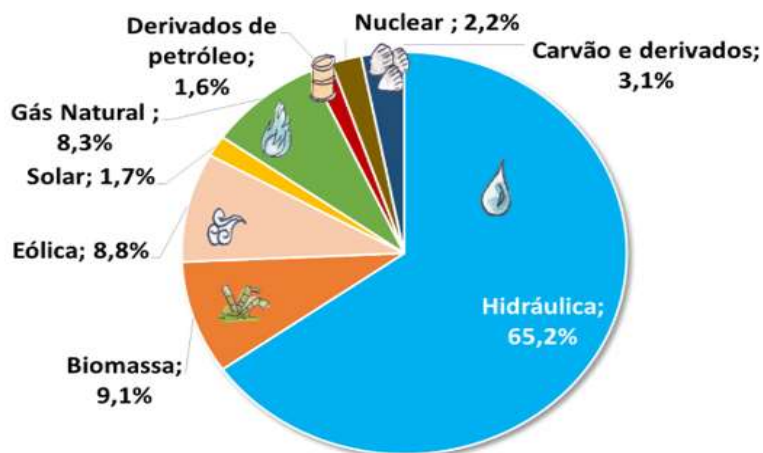


Figura 1: Matriz energética brasileira 2020. Fonte: EPE (2023a).

O Brasil possui uma matriz energética 83% renovável comparados com os 27% no mundo e esse percentual vem crescendo, o que evidencia o potencial energético brasileiro e a busca por energias renováveis e sustentáveis (Figura 2). A matriz energética brasileira tem apresentado renovabilidade, sobretudo com o aumento do uso da energia de biomassa e solar para geração de energia elétrica (EPE, 2023a).

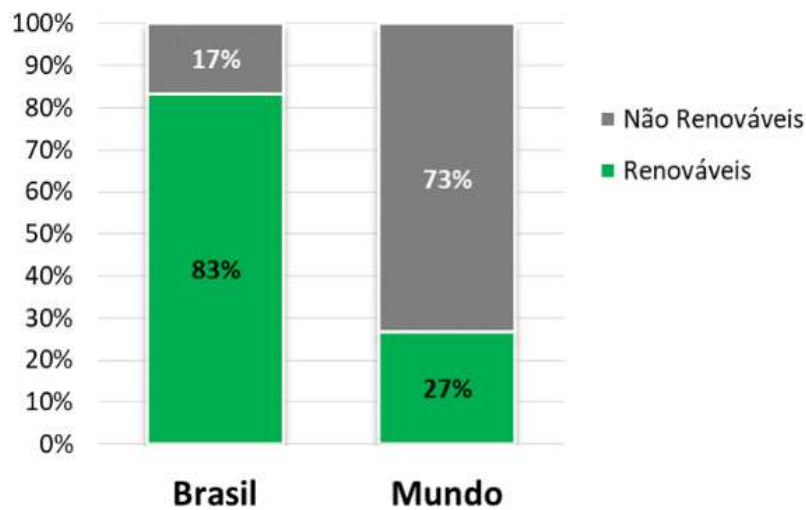


Figura 2: Uso de energias renováveis no Brasil e no mundo. Fonte: EPE (2023a).

A redução progressiva dos custos, o aumento do rendimento dos sistemas solares, e a elevação das tarifas das concessionárias de distribuição de energia, adicionalmente com o aprimoramento da Resolução ANEEL N° 1.059/2023, a paridade de custo final de energia produzida pelos sistemas fotovoltaicos e das tarifas das concessionárias já é uma realidade (ANEEL, 2023a; 2023b). O uso de painéis solares vem aumentando por conta de sua eficiência, tempo de retorno do investimento e impacto ambiental baixo (BNDES, 2023). Entretanto há uma variação nos tipos de energia que compõem a matriz energética brasileira medida em GW/h, conforme indicado na Figura 3 (EPE, 2023b).

Fonte	2021	2022	Δ 22/21
Hidrelétrica	362.818	427.114	17,7%
Gás Natural	86.957	42.110	-51,6%
Eólica	72.286	81.632	12,9%
Biomassa ²	52.416	52.223	-0,4%
Nuclear	14.705	14.559	-1,0%
Carvão Vapor	17.585	7.988	-54,6%
Derivados do Petróleo ³	17.327	7.056	-59,3%
Solar Fotovoltaica	16.752	30.126	79,8%
Outras ⁴	15.263	14.364	-5,9%
Geração Total	656.109	677.173	3,2%

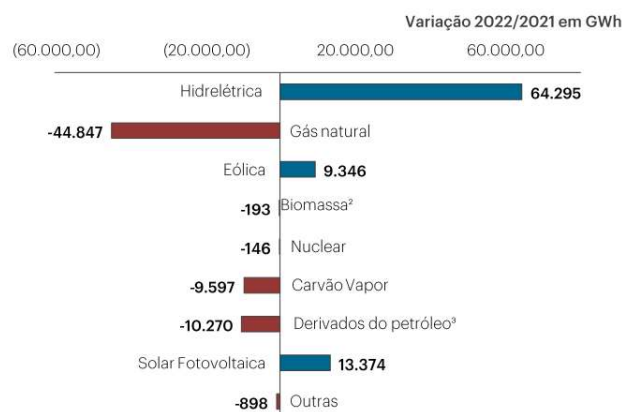


Figura 3: Variação dos diferentes tipos de energia utilizados no Brasil para geração de energia elétrica. Fonte: EPE (2023b).

O Brasil, por ser um país tropical, é um privilegiado pela quantidade de energia solar disponível, praticamente inesgotável e renovável, que pode ser utilizada de forma passiva ou ativa (BARBOSA, 2020). Pela sua localização colabora para a incidência de radiação solar sobre as células das placas, fundamental para seu funcionamento. O uso de sistemas fotovoltaicos vem se tornando cada vez mais ascendente por conta de melhorias na tecnologia aplicada nos sistemas que se apresentam eficientes e por ter seu custo pago pelo próprio sistema em funcionamento dentro de alguns anos. O sistema de energia fotovoltaica por poder ser empregada em todo o território brasileiro, com boa eficiência, devido as altas incidências de radiação solar. Além disso, é um sistema de geração de energia com vida útil acima de 25 anos, é ambientalmente limpo por ter grande potencial de reciclagem de seus componentes após a sua desativação (ANSELMO, 2019). O Mapa Brasileiro de Energia solar (PEREIRA, et al., 2017) (Figura 4) demonstra que o país tem grande potencial para produção de energia solar. Área que vai do nordeste ao pantanal e que reúne as condições para ampliar a capacidade produtiva, a Figura 4 demonstra os índices de radiação no país. As áreas que apresentam o tom avermelhado possuem mais irradiação solar e tom mais fraco com menor, até chegar ao verde onde a irradiação está muito baixa. Este variando entre verde fraco com menor irradiação e verde forte com maior.

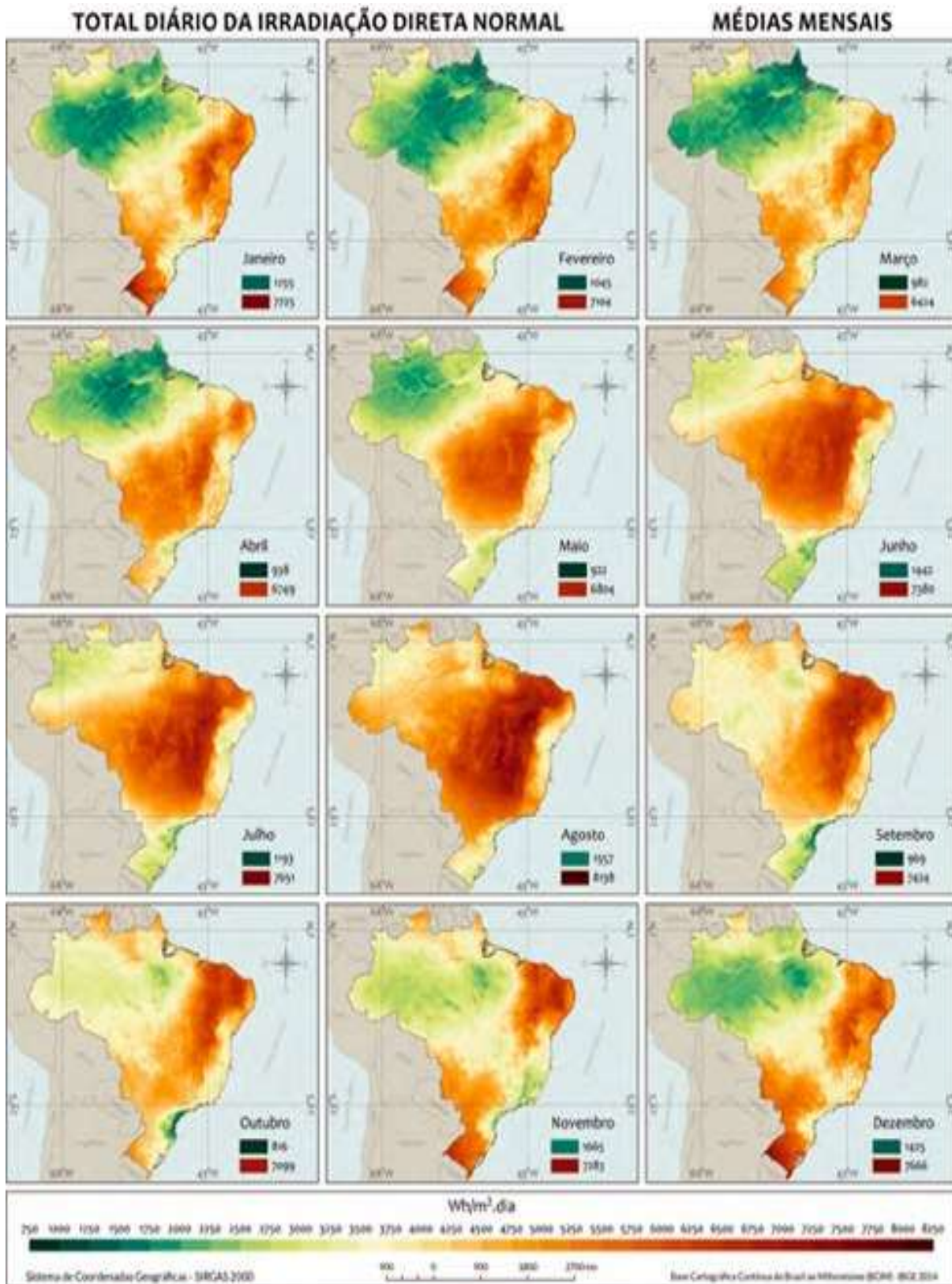


Figura 4: Mapa brasileiro de energia solar. Fonte: PEREIRA et al (2017).

A placa solar fotovoltaica (Figura 5) é composta de células fotovoltaicas. Elas são fabricadas de material semicondutor e geram energia elétrica através do efeito fotovoltaico (PORTAL SOLAR,2022).



Figura 5: Sistema solar fotovoltaico. Fonte: PORTAL SOLAR (2022)

A placa funciona quando os fótons, partículas de luz que viajam do sol até a terra, atingem a célula fotovoltaica e fazem com que alguns elétrons que circundam os átomos se desprendam e migrem para a parte do silício, que está com ausência de elétrons criando uma corrente elétrica (Figura 6) (PORTAL SOLAR,2022).

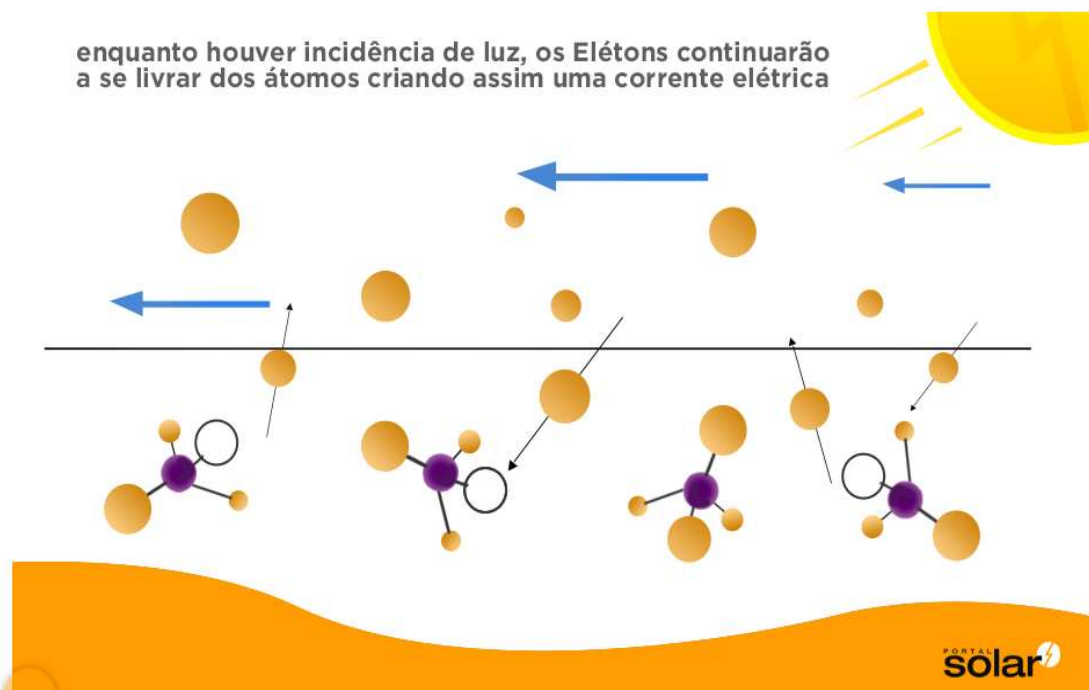


Figura 6: Comportamento de elétrons no painel fotovoltaico, quando a célula é atingida por fótons de luz solar. Fonte: PORTAL SOLAR (2022)

A energia solar fotovoltaica representa 4,4% da matriz energética brasileira e o crescimento em instalações de sistemas fotovoltaicos tem apresentado crescimento favorável EPE (2023a). Sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR ou ON-GRID) possibilitaram o aumento da eficiência do sistema, como consequência de novas tecnologias e com isso aumentaram a credibilidade do sistema. Ele não necessita de sistema de armazenamento de energia para uso em períodos que não existe radiação solar incidindo sobre o painel, como ocorre à noite, por exemplo (ZILLES, et al., 2012). O sistema fotovoltaico conectado à rede é o mais utilizado no Brasil, porém é importante apresentar outro modelo de geração de energia elétrica fotovoltaica, o sistema fotovoltaico não conectado à rede (OFF-GRID). Nesse sistema, geralmente, são utilizadas baterias para acumular energia quando o sistema não está gerando. Além dos painéis fotovoltaicos e do inversor, o sistema precisa de um controlador de carga para poder alimentar as baterias (Figura 7) (BRASIL 2023).

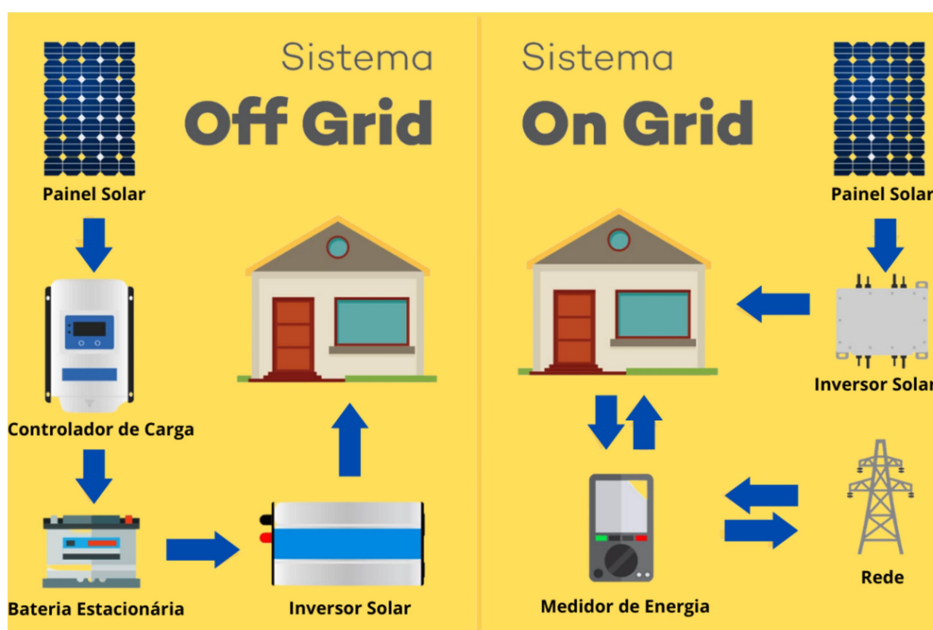


Figura 7: Diferença Entre os sistemas Off-Grid e On-Grid. Fonte: EVS (2023).

OBJETIVO

Com o intuito de apresentar uma alternativa sustentável, com baixo impacto ambiental, economicamente viável e que amenize os custos com energia elétrica para a população, empresas e órgãos públicos, este estudo analisou a viabilidade de instalação e projeto de um sistema de geração de energia elétrica via painéis fotovoltaicos em uma empresa na cidade São Leopoldo, RS.

METODOLOGIA

Caracteriza-se a área de estudo que é uma empresa localizada em um setor industrial da cidade de São Leopoldo, RS, com poucas perspectivas de construção de prédios aos arredores nos próximos anos (Figura 9). As árvores não parecem indicar problemas de sombreamento na altura do telhado. Entretanto, foi sugerida atenção com possíveis acúmulos de folhas e /ou sujeira sobre o sistema, o que pode acarretar a diminuição da eficiência do sistema.

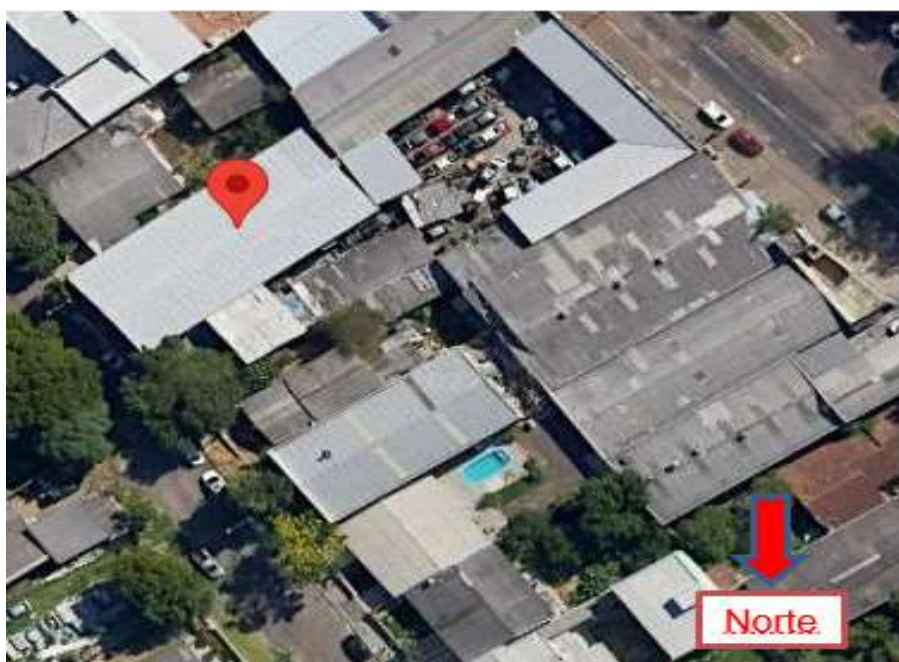


Figura 9: localização. Fonte: GOOGLE MAPS (2022)

O pavilhão possui uma das águas do telhado com orientação Norte – Noroeste e seu telhado possui inclinação de 15°, o que está abaixo da inclinação calculada e abaixo da maior média anual de irradiação solar diária. Esta média foi calculada no programa SunData do CRESESB.

O consumidor cuja análise do sistema foi feita é do grupo B, ou seja, consumidor em baixa tensão e possui uma média anual de consumo de energia elétrica com média em torno 4092 kWh/mês. A taxa de desempenho dos sistemas solares fica entre 70% e 80% (TONOLO, 2019), portanto foi convencionado para o projeto um adicional de 22% por cento na geração para suprir perdas de geração dos materiais que compõem o sistema ao longo dos anos, ficando dimensionado com 40 kWp. O consumidor questionou sobre possível aumento de consumo instalando novos aparelhos elétricos, em caso positivo é solicitado a potência do equipamento e horas de operação para incremento de potência instalada no sistema.

A partir de características da localização da área de estudo, ficou evidenciado que o local está uma região com boa irradiação solar e livre de sombreamento na área do telhado. Também foi analisada a estrutura do telhado, inclinação e área útil e a fatura de energia elétrica. Com isso foi possível calcular a potência a ser instalada a partir dos cálculos a seguir:

a) potência média mensal

Consumo Médio (Cm) = últimos 12 meses da fatura de energia/12

b) consumo médio diário

Consumo Médio Diário (Cmd) = Cm(kWh)/30 dias

c) potência do sistema

$P(\text{kWp}) = \text{Cmd}/(I \cdot (1-0,22))$

onde:

I=irradiância média anual (kWh/m².dia)

P= potência (kWp)

d) Dimensionamento do número de painéis fotovoltaicos a serem instalados

$N_p = P_e(W)/P_p(W)$

Onde:

N_p= número de painéis

P_e= potência escolhida (W)

P_p= potência do painel(W)

e) Geração mensal

$P_m(\text{kWh}) = P_e \cdot \text{Imm} \cdot 30 \cdot (1-0,22)$

Onde:

P_m=Potência mensal(kWh)

P_e=Potência escolhida para projeto(kWp)

Imm=Irradiação média mensal

30=número de dias utilizados para projeto

0,22= porcentagem convencionada para perdas de geração

1= equivalente a 100% de geração

Para o cálculo do retorno de investimento com uma geração de 100% do consumo deve permanecer na conta de energia os custos fixos como taxa mínima que varia de acordo com a classificação do cliente. Neste estudo, o cliente utiliza um sistema trifásico de baixa tensão, cuja taxa mínima cobrada equivale a 100 kw. A taxa de iluminação pública também permanece sendo cobrada, pois ela é recolhida na conta de energia. Impostos são variáveis de acordo com a diferença entre geração e consumo mês a mês e nos meses em que o sistema produz mais energia irá gerar créditos de compensação para os meses em que o sistema produzir menos, o que faz com o que valor do consumo em kWh seja totalmente retornado dentro de alguns meses. Foi fixado o valor do kWh em R\$ 1,00 e taxa de iluminação pública no valor de R\$ 29,74 totalizando um valor médio mensal de energia após instalação de R\$ 129,74. Para os próximos anos é preciso considerar a perda de geração do painel, segundo o seu fabricante (TSUN) há garantia de 80% do rendimento após 25 anos, ou seja, uma queda de produção média de 0,8% ao ano. Para o cálculo da economia gerada foi utilizada uma inflação média de 10%, aproximando-se do INPC. O valor de todo o material a ser utilizado foi de R\$ 132.590,00 acrescidos mais R\$ 40.000,00 de mão de obra orçados para o projeto, o que resulta em um valor total de R\$ 172.590,00 para a implantação do sistema. Esse valor será amortizado com a economia de energia antes do 4º ano após sua

implantação. Para cálculo do valor presente líquido da economia somada, foi utilizada a média da taxa SELIC dos últimos 10 anos que, segundo a receita federal, foi de 8,12% (Quadro1).

Quadro 1: Demonstrativo do valor presente líquido. Fonte: Autores do trabalho (2022).

Autonomia do Sistema (%)	102,63
Taxa de Iluminação Pública (R\$)	29,74
Indicadores de Viabilidade Financeira	
Taxa Anual de Juros para Cálculo do VPL (% a.a.)	8,12
Investimento inicial (R\$)	172.590,00
Payback Simples (anos)	3
Retorno de Investimento – ROI (em vezes)	26,2
Taxa interna de Retorno – TIR (% a.a.)	51,84
Valor Presente Líquido – VPL (R\$)	1.196.231,21

Os materiais necessários para um sistema fotovoltaico são: inversor tipo On-Grid do fabricante SAJ, modelo Suntrio Plus de 40kVA, tensão 380/220 v, pois deve ser de boa qualidade para assegurar produtividade e segurança; células fotovoltaicas fabricadas com lâminas de silício monocristalino ou policristalino e agrupadas em ligações série e paralelo para serem adequadas as aplicações a que se destinam e encapsuladas com materiais que protegem as células de intempéries, isola-as eletricamente de contatos exteriores e fornece rigidez mecânica ao conjunto; as estruturas são feitas de materiais de boa resistência mecânica e à oxidação que ofereçam segurança e durabilidade ao sistema; os cabos utilizados em sistemas fotovoltaicos devem atender a Norma ABNT NBR 16612/2017, requisitos básicos como temperatura, encordoamento, fios estanhados, cobertura de composto não halogenado termofixo resistente a água e a radiação UV; o conector desenvolvido para sistemas fotovoltaicos possui resistência à UV, umidade e intempéries; o fusível é um dispositivo de proteção contra sobrecorrente e corrente de curto-circuito; o disjuntor é um dispositivo termomagnético que atua com sobrecorrente e corrente de curto-circuito, também pode ser usado como seccionador, para desligar totalmente o circuito em caso de manutenção por exemplo; o Dispositivo de Proteção contra Surtos (DPS) é capaz de detectar sobretensões transitórias em uma rede elétrica e desviar esses distúrbios de energia para o aterramento do circuito; o string box é onde são feitas as conexões dos dispositivos de proteção e seccionamento do inversor e com os painéis fotovoltaicos e funciona como proteção do circuito cc; o quadro de distribuição de corrente alternada serve para fazer as conexões dos dispositivos de proteção com o inversor e com o ponto de conexão da rede elétrica corrente alternada existente. Ele protege contra descargas atmosféricas e contra sobrecarga e curto-circuito da parte CA do sistema fotovoltaico.



Figura 10: Composição típica de um sistema fotovoltaico. Fonte: IDEAL (2018).

RESULTADOS

No caso da empresa em questão, ações de eficiência energética foram tomadas, como troca de lâmpadas antigas por lâmpadas de led, instalação de sensores de presença em áreas de baixa circulação de pessoas e troca de equipamentos com maior eficiência energética. No entanto, a alta dos preços com energia elétrica trouxe a necessidade de investimentos visando a redução de custos, para que esses gastos com energia não comprometessem a saúde financeira

da empresa e sua competitividade com outras do setor. Iniciou-se um estudo sobre qual seria a melhor alternativa para o local que atendesse as necessidades da empresa e que fosse economicamente viável e de baixo impacto ambiental. A energia solar foi a opção apresentada por ser uma energia limpa não gerando gases na sua geração, não apresenta ruídos e é de baixa manutenção.

Para fazer o levantamento da potência a ser instalada no local é preciso calcular a média anual de consumo, saber a localização, conhecer a estrutura e inclinação do telhado e sua área útil. A média de consumo deve ser extraída da própria fatura de energia. Para este projeto foi utilizada a latitude do local de menor distância do local do projeto, com irradiação solar diária média de 4,38 kWh/m² dia. Para a inclinação do sistema solar conforme tabela gerada pelo programa SunData da CRESESB deve-se escolher a inclinação onde se evidencia a maior média de irradiação solar diária mensal, nesse caso 22° Norte. O telhado apresenta uma inclinação de 15° entre norte e noroeste e a maior média de irradiação solar diária mensal, segundo o programa SunData da CRESESB é 22°norte. No entanto o custo-benefício de um sistema de inclinação no telhado não foi indicado, pois as perdas não compensariam o investimento, devendo assim manter a instalação rente à superfície do telhado respeitando as áreas de ventilação e a distância entre as strings horizontais para circulação de pessoal. A irradiação utilizada refere-se ao plano horizontal. A potência do sistema calculada foi de 39,92 kWp e para o projeto foi escolhido um inversor de 40 kWp existente no mercado para dimensionamento do sistema fotovoltaico. Os cálculos foram:

$$C_{md} = 4092 \text{ kWh} / 30 \text{ dias} = 136,4 \text{ kWh/dia}$$

$$P(\text{kWp}) = 136,4 \text{ kWh} / (4,38 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia} \cdot (1 - 0,22)) = 39,92 \text{ kWp}$$

$$N_p = 40000 / 550 = 72,7 \text{ painéis}$$

$$\text{Porém: } 72 \cdot 550 = 39600 \text{ W}$$

Como se quer absorver a máxima potência do sistema com base na potência nominal do inversor, então com base no número de strings do inversor, o próximo número de painéis múltiplo de três será 78.

$$\text{Então: } 78 \cdot 550 \text{ W} = 42900 \text{ W}$$

A potência do sistema é homologada pelo inversor com 40kWp, porém o sistema produzirá 42,9kWp devido ao layout de instalação para atender a tensão e corrente máximas em cada string. Isso necessitou da implantação de mais painéis para poder produzir a máxima potência do sistema.

$$P_m(\text{kWh}) = P_e \cdot I_{mm} \cdot 30 \cdot (1 - 0,22)$$

$$P_m = 40 \cdot 4,3 \cdot 30 \cdot 0,78$$

$$P_m = 4,099 \text{ kWh}$$

O investimento será totalmente amortizado antes do 4º ano pela economia somada anual. E após 25 anos trazendo para valores presentes uma economia de R\$ 1.196.231,21 reais.

CONCLUSÕES

Para o presente estudo foi levada em consideração a localização da área de implantação do sistema, com boa irradiação solar, livre de sombreamento, área útil para instalação do sistema é suficiente para atender 100% da demanda de energia elétrica atual do empreendimento e estrutura suporta o peso do equipamento. A região é compartilhada entre indústrias e residências, o que traz a necessidade de um sistema sem ruídos e que não emita poluentes. O valor do investimento e tempo de retorno tem grande importância na escolha do sistema fotovoltaico e foram dois fatores fundamentais para a viabilidade do investimento, pois ficou evidenciado no estudo que a própria economia do sistema acaba amortizando os custos que foram orçados em R\$172.590,00 em pouco mais de três anos e após esse período proporcionando retorno financeiro com diminuição dos custos com a conta de energia elétrica. A economia em 25 anos com uma taxa de juros de 8,3% para cálculos de valores atuais será de R\$1.196.231,21, o que evidencia a viabilidade econômica do projeto, além de ser um sistema eficiente, limpo, sem ruídos e de baixa manutenção. Esse estudo apresentou uma alternativa economicamente viável e ambientalmente correta para geração de energia elétrica, trazendo para empresa estudada uma forma de diminuição dos custos, uma forma de contribuição com o sistema elétrico brasileiro, instalando um sistema de geração de energia renovável, preservando o meio ambiente e que apresenta boa eficiência ao longo dos anos. Ficou evidenciado que, para um sistema fotovoltaico de 40kWp com as mesmas características de irradiação e posição solar, o custo investido é amortizado nos primeiros quatro anos com a economia gerada, e continuará gerando até 80% de sua capacidade em vinte e cinco anos, segundo o fabricante com todos os cuidados por este recomendados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar). **2022: o melhor ano da energia solar no Brasil**. 2022. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/2022-o-melhor-ano-da-energia-solar-no-brasil/>. Acesso: 10 de maio de 2023.
2. Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). **Resolução Normativa ANEEL N° 1.059, de 7 de fevereiro de 2023**. 2023a. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.pdf> Acesso: 15 de julho de 2023.
3. Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). **Modalidades tarifárias**. 2023b. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/modalidades-tarifarias> Acesso: 15 de julho de 2023.
4. Anselmo, A. H. **Reciclagem ou destinação final de painéis fotovoltaicos aplicados em geração de energia ao final do ciclo de vida**. 2019. 58f. Monografia (Especialização em Fontes Renováveis), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Minas Gerais, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/35049>. Acesso: 08 de junho de 2023.
5. Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES) **Fundo Clima - Subprograma Energias Renováveis**. 2023. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima-energias-renovaveis> Acesso: 10 de maio de 2023.
6. Barbosa, J. P. **Energia solar no Brasil: desafios e oportunidades para o uso em larga escala**. 2020. 212f. Tese (Doutorado em Alterações Climáticas e Políticas para o Desenvolvimento Sustentável), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa Portugal, 2020. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/103104/1/Barbosa_2020.pdf Acesso: 07 de abril de 2023.
7. Brasil. Ministério do Meio Ambiente. **Projeteee**. 2023. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteee/equipamento/sistemas-fotovoltaicos-nao-conectados-a-rede-off-grid/> Acesso: 10 de maio de 2023.
8. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (Cresesb). **Tutorial de Energia Fotovoltaica**. 2006. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=tutorial_solar Acesso: 23 de abril de 2023.
9. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Matriz energética e elétrica**. 2023a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica> Acesso: 15 de julho de 2023.
10. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Ben. Relatório Síntese 2023. Ano base 2022**. 2023b. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-681/BEN_S%C3%ADntese_2023_PT.pdf. Acesso: 15 de julho de 2023.
11. EVS Energy. **Diferença entre um sistema off-Grid e um sistema On-Grid**. 2023. <https://www.evs.eng.br/noticias/qual-a-diferenca-entre-um-sistema-off-grid-e-on-grid/>. Acesso: 15 de julho de 2023.
10. Google Maps. 2022. Disponível em: <https://www.google.com/maps>. Acesso: 15 de dezembro de 2022.
11. Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina (Ideal). **O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica – Edição 2018**. Disponível em: <http://www.institutoideal.org/biblioteca>. Acesso: 7 de abril de 2023.
12. 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://doi.org/10.34024/978851700089> Acesso: 25 de maio de 2023.
13. Pipe, J. **Energia Solar**. 2015. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/186667/pdf/0?code=KTaJMZhrIoolY8aiuvDk>



[11oqYYbaUBvAf5t9FDBGxQE1hBVgcDXL5so+F6kiMj/cUB1dZMpZjQeODufA3Z0f/A==](https://www.portalsolar.com.br/).

Acesso: 10 de maio de 2023.

14. Portal Solar. **Site oficial**. 2023. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/>. Acesso: 10 de maio de 2023.

15. Tonolo, E. A. **Análise dos fatores de perdas nos sistemas fotovoltaicos da UTFPR Campus Curitiba**. 2019. 140f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Energia), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, Paraná, 2019. Disponível em:

<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4664> Acesso: 7 de abril de 2023.

16. Zilles, R.; Macêdo, W.N.; Galhardo, M. A. B.; Oliveira, S. H. F. de. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**. 1ª ed., São Paulo: Oficina de Textos, 2012, 208 p..