

Análise da viabilidade econômica da implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica na Christus Faculdade do Piauí

Analysis of the economic feasibility of implementing a photovoltaic solar energy system at Christus Faculdade do Piauí

Análisis de la viabilidad económica de la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica en la Christus Faculdade do Piauí

Recebido: 24/07/2023 | Revisado: 05/08/2023 | Aceitado: 06/08/2023 | Publicado: 09/08/2023

Bruna Caroline Oliveira Silva

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9892-9908>
Christus Faculdade do Piauí, Brasil
E-mail: carolineoliveirasilva07@gmail.com

Mayrã do Nascimento Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3439-5421>
Christus Faculdade do Piauí, Brasil
E-mail: mayransilva123@gmail.com

Wanderson Rocha de Carvalho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5278-1329>
Christus Faculdade do Piauí, Brasil
E-mail: wanderson_vitoria2010@hotmail.com

Marcílio Gonçalves de Farias Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4577-2173>
Christus Faculdade do Piauí, Brasil
E-mail: marciliofarias@hotmail.com

Geysivana Kessya Garcia Carvalho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7589-7148>
Christus Faculdade do Piauí, Brasil
E-mail: geysivanacarvalho@hotmail.com

Pedro Victor Lopes Mendes e Moura

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9425-1842>
Christus Faculdade do Piauí, Brasil
E-mail: engpvmendesmoura@hotmail.com

Natanael Souza Mendes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4510-878X>
Christus Faculdade do Piauí, Brasil
E-mail: natanael_mendes2@hotmail.com

Resumo

O alto consumo de fontes de energias não renováveis afeta diretamente a sustentabilidade do meio ambiente, trazendo consigo malefícios relacionados ao aquecimento global, chuva ácida, perda da biodiversidade e os esgotamentos das fontes energéticas, por conta da alta demanda de energia na atualidade e preço de taxaço com valores extremamente elevados, esses fatores cooperaram para o crescimento da procura de novas fontes de energia a um nível sustentável e mais econômico. Uma das tecnologias renováveis que vem ganhando espaço mundialmente é a energia fotovoltaica. Este trabalho tem como objetivo descrever a implantação de um sistema solar fotovoltaico na Christus Faculdade do Piauí (CHRISFAPI), com interesse de atender as demandas energéticas da instituição, elaboração de um sistema de energia fotovoltaica, juntamente com dimensionamento do sistema, orçamento e o retorno financeiro. A metodologia foi baseada na análise de consumo de energia elétrica de 12 meses referente ao período de janeiro de 2022 a dezembro de 2022. Para a unidade anexada recentemente, os dados foram coletados pela quantidade de aparelhos e o tempo de funcionamento. A partir desse estudo foi possível analisar a viabilidade desse projeto, chegando à conclusão que esse sistema será viável para suprir a demanda energética dessas unidades, e perante a sua análise econômica, esse projeto é executável e rentável, devido ao seu tempo de retorno financeiro.

Palavras-chave: Sistema fotovoltaico; Energia renovável; Dimensionamento; Viabilidade econômica.

Abstract

The escalating consumption of non-renewable energy sources has a direct and adverse impact on environmental sustainability, leading to detrimental effects such as global warming, acid rain, biodiversity loss, and energy source

depletion. The current high energy demand and exorbitant taxation prices have prompted a growing need for sustainable and economically viable alternative energy sources. Among the various renewable technologies, solar photovoltaic energy has gained significant global recognition. This paper aims to outline the implementation of a photovoltaic solar system at Christus Faculdade do Piauí (CHRISFAPI), with the objective of fulfilling the institution's energy requirements, the study encompasses the design and sizing of the photovoltaic system, along with cost estimation and financial returns. The methodology employed involved analyzing the electricity consumption over a 12-month period, from January 2022 to December 2022. For the recently added unit, data was collected based on the number of devices and their operating durations. Based on this analysis, the viability of the project was evaluated, concluding that the proposed system would be able to adequately meet the energy demands of the units. Moreover, from an economic perspective, the project is deemed feasible and profitable, given its financial payback period.

Keywords: Photovoltaic system; Renewable energy; Sizing; Economic viability.

Resumen

El alto consumo de fuentes de energía no renovables afecta directamente la sostenibilidad del medio ambiente, trayendo consigo perjuicios relacionados con el calentamiento global, la lluvia ácida, pérdida de biodiversidad y el agotamiento de las fuentes de energía, debido a alta demanda de energía en la actualidad al precio de tributación con valores extremadamente altos, éstos factores cooperaron para el crecimiento de la demanda por nuevas fuentes de energía a un nivel sostenible y más económico. Una de las tecnologías renovables que ha ido ganando terreno a nivel mundial es la energía fotovoltaica. Este trabajo tiene como objetivo describir la implementación de un sistema solar fotovoltaico en Christus Facultad del Piauí (CHRISFAPI), con interés en satisfacer las demandas de energía de la institución, elaboración de un sistema de energía fotovoltaica, presupuesto y retorno financiero. La metodología se basó en el análisis del consumo de energía eléctrica de 12 meses, referido al período de enero de 2022 a diciembre de 2022. Para la unidad recién adquirida, se recolectaron datos por número de artefactos y tiempo de funcionamiento. A partir de este estudio se puede analizar la viabilidad de este proyecto, llegando a la conclusión que este sistema será viable para abastecer la demanda energética de éstas unidades, y ante su análisis económico, este proyecto es ejecutable y rentable, por su tiempo de ejecución y retorno financiero.

Palabras- clave: Sistema fotovoltaico; Energía renovable; Dimensionamiento; Viabilidad económica.

1. Introdução

O Sol é a maior fonte de energia para o planeta Terra, a partir disso denota-se que de toda energia que existe na Terra, quase 100% é oriundo dele. O Sol é uma estrela na qual possui uma massa imensa, gerando altas temperaturas por conta das reações de fusão nuclear, tendo por consequência a produção de energia. E essa energia auxiliou as primeiras civilizações na procura de alimentos e abrigos, ajudando no aquecimento e iluminação (Milone et al., 2019). Entretanto, o fogo foi a primeira forma de energia que os seres humanos dominaram, na finalidade de realizar atividades diárias (espantar animais e cozer alimentos) e na produção de ferramentas e utensílios (panelas e jarros de barro), posteriormente na fundição de metais (Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2023).

No século XVIII, com a Revolução Industrial, devido ao desenvolvimento do ser humano e a das atividades realizadas, surgiram novas fontes de energias altamente potenciais (combustíveis fósseis), como foi o caso do carvão mineral e petróleo. Porém, os combustíveis fósseis são fontes de energia não renováveis, no qual apresentam a desvantagem de poluírem bastante o meio ambiente, levando a procurar alternativas que não sejam tão prejudiciais (Cosmo, Galeriani, Novaski & Ricini, 2020). São exemplos de fontes de energias renováveis: solar, eólica, hidráulica, biomassa, geotérmica e oceânica. Essas energias são limpas, devido emitirem menos gases na atmosfera e não modificarem tanto o meio ambiente, por esse motivo o destaque brasileiro e mundial (Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2018). Sendo importante ressaltar que o foco desse artigo científico é a energia solar fotovoltaica (ESFV).

O sistema de energia solar fotovoltaica (SFV) baseia-se na transformação da radiação solar em energia elétrica. De forma simplificada o processo inicia-se na captação da luz solar, na qual é absorvida pelos painéis fotovoltaicos, gerando corrente elétrica e nutrendo o circuito elétrico (Santos, Martins & Borges, 2020). Conforme a Agência Internacional de Energia (IEA), a energia solar fotovoltaica é uma das fontes energéticas com maiores crescimentos no planeta, possuindo um

crescimento de quase 35% na produção de energia no ano de 2017 e poderá ter um aumento de mais de 15 vezes na capacidade instalada até o ano de 2040.

Segundo Fortes (2022), o Brasil é geograficamente beneficiado com a abundante incidência de radiação solar ao longo do ano. Portanto, a ESN surge como alternativa altamente competitiva ao uso de combustíveis fósseis, e como geração paralela as hidrelétricas (que apesar de ser energia limpa causa impactos ambientais) e substituição das termelétricas. Com a criação da Resolução Normativa nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2012) e posteriormente atualização com a Resolução Normativa nº 687/2015 houve grande incentivo para a instalação de sistemas fotovoltaicos para microgeração e minigeração distribuída, devido a esse crescimento houve outras atualizações na microgeração e distribuição de energia, resultando na Lei nº 14.300/22.

A instituição em estudo está localizada no município de Piripiri, ao norte do estado do Piauí. O Piauí está situado na região Nordeste, próximo a Linha do Equador (cinturão solar), local de altas temperaturas e incidência direta da luz solar (Costa et al., 2022; Silva et al., 2022). O município de Piripiri destaca-se nacionalmente devido as altas temperaturas, como foi no dia 04 de setembro de 2022, sendo registrada a maior temperatura (40,4° C) do território brasileiro (Inmet, 2022). O Governo do Estado do Piauí em conjunto com iniciativas privadas criou um projeto para serem instaladas miniusinas de energia solar ao longo do território, como forma de aproveitar esse enorme potencial do estado (Governo do Estado do Piauí, 2019).

O objetivo deste trabalho foi descrever um estudo sobre a implantação de um sistema fotovoltaico na instituição Christus Faculdade do Piauí (CHRISFAPI), com interesse de atender as demandas energéticas dessa faculdade (Prédio Principal – Unidade I), juntamente com a Clínica Escola (Unidade II) e o novo prédio (biblioteca e auditório – Unidade III) que foi anexado recentemente. Ademais, foi executado um levantamento de custos de energia gerada pela instituição, um dimensionamento de quantidade de painéis solares conectados à rede com interesse de suprir o valor energético utilizado pela faculdade e inversores, precificação de todos os equipamentos utilizados na instalação para calcular os custos e verificação do tempo de retorno financeiro. A análise econômica teve uma grande relevância nesse trabalho, entretanto, foi apresentado também os seus benefícios em relação a preservação do meio ambiente, devido ser uma fonte de energia limpa.

2. Referencial Teórico

2.1 Classificação dos sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos, em geral são formados pelos módulos solares – colocado geralmente no telhado, nos quais transformam a luz solar em corrente elétrica por meio do efeito fotovoltaico – e o inversor solar – converte a corrente elétrica gerada pelos painéis solares de tensão contínua em tensão alternada – como também: estrutura de fixação dos módulos, diodos by-pass e de bloqueio, fusíveis, disjuntores e as caixas de conexões (Silva et al., 2022; Ab Solar, 2022; Fortes, 2022; Intelbras, 2021).

Segundo a Ab Solar (2020), um sistema fotovoltaico pode ser classificado em três categorias distintas (Figura 1):

Figura 1 - a) Sistema “on grid” b) Sistema “off grid” c) Sistema híbrido.



Fonte: Adaptado, FJ Solar (2023); M. N. Silva et al. (2022).

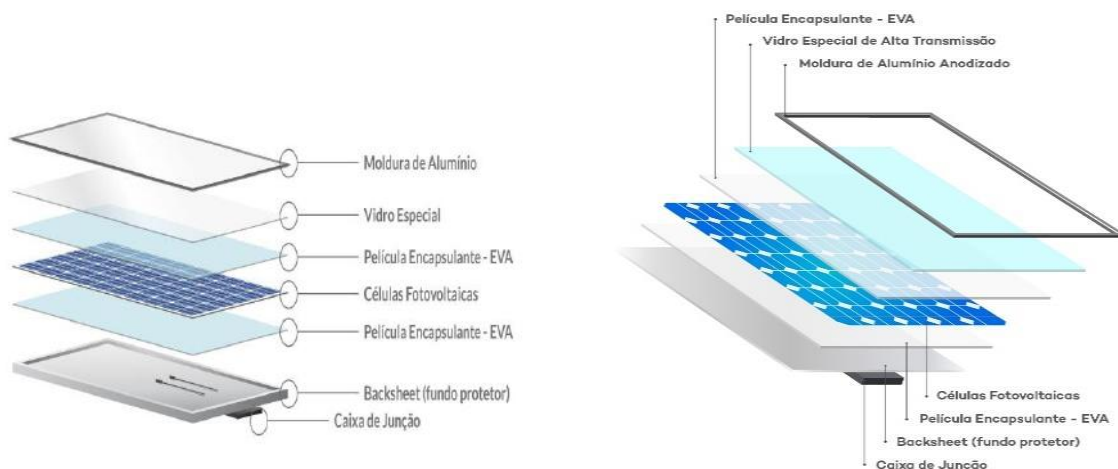
- Sistema “on grid”: ligado à rede elétrica da distribuidora, o excedente produzido durante o dia é utilizado a noite e/ou momentos em que não há sol. A energia gerada que não é consumida é redirecionada a rede de distribuição e convertida em créditos (Silva et al., 2022);
- Sistema “off grid”: não está conectado à rede elétrica, usam baterias para armazenar o excedente de energia para ser consumida em momento com pouco irradiação solar e durante a noite, usual em região isoladas e remotas (Machiavelli et al., 2020);
- Sistema fotovoltaico híbrido: conectado à rede elétrica, porém tem uma bateria de armazenamento, ainda não é regulamentado pela ANEEL no Brasil e possui um custo mais elevado (Bellinaso & Michels, 2022).

Os SFVs precisam seguir os regulamentos das resoluções normativas 482/2012, 687/2015 e Lei 14.300/2022 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), pois esse órgão permitiu a regulamentação do acesso a microgeração e minigeração distribuída no país.

2.2 Composição dos módulos fotovoltaicos

De acordo com Weber (2019), os módulos fotovoltaicos são responsáveis pela captação da irradiação solar, sendo a estrutura onde ocorre o efeito fotovoltaico. Em resumo, define por painel solar um conjunto de células fotovoltaicas associadas em série e depois encapsuladas e formadas por algumas estruturas (Figuras 2 e 3).

Figuras 2 e 3 - Elementos de um módulo fotovoltaico.



Fonte: Adaptado, Blue Sol (2021); Neosolar (2023)

Segundo Portal Solar (2023), as características das estruturas de um painel solar são:

- Moldura de alumínio: moldura de alumínio anodizado (alumínio excepcionalmente durável) para dar robustez e garantir segurança física;
- Vidro especial: vidro temperado especial, adaptado para absorver o máximo de luz possível (possui uma substância antirreflexiva);
- Película encapsulante: é um acetato-vinilo de etileno (EVA) específico para painéis fotovoltaicos, garante a proteção contra raios UV, umidades e temperaturas extremas;
- Célula fotovoltaica: responsável pela transformação da luz solar em energia elétrica, espessura é bem fina (cerca de 2 mm);
- Backsheet (fundo protetor): protege os componentes internos do painel fotovoltaico;
- Caixa de junção: fica na parte de trás do painel solar, tem o formato de uma caixa, responsável por garantir segurança e o bom funcionamento do módulo solar.

2.3 Usinas solares fotovoltaicas

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (Portal Solar, 2023), o Brasil atualmente contém mais 4.350 usinas fotovoltaicas em operação, produzindo uma potência de aproximadamente de 3,84 GW (gigawatts). Além disso, uma das maiores usinas da América Latina está localizada na região nordeste, no estado do Piauí, o parque de São Gonçalo do Gurgueia (SGL), uma usina com 2,2 milhões de painéis solares, gerando um total de 608 MW (megawatts), atualmente, o parque passou por uma ampliação, com objetivo de aumentar para 864MW (Silva et al., 2022; Souza, 2022).

No Piauí está localizada várias usinas, como a de Nova Olinda, que possui 930 mil painéis solares ocupando 690 hectares (CGN, 2023). No município de Brasileira, nos primeiros meses de 2023, começou a construção de um dos maiores parques solares do País (Ab Solar, 2022). De acordo com relatório da ANEEL, o governo do Piauí é o que mais investiu no fornecimento de energia limpa. Foi elaborado uma proposta, com intuito de realizar a construção de 8 miniusinas, a partir das Parceiras Públicas – Privadas (PPPS), nos municípios de Cabeceiras do Piauí, Caraúbas do Piauí, Canto do Buriti, José de Freitas, Miguel Alves e Piracuruca. Os municípios foram escolhidos pelo fato da incidência solar, distância dos locais até o

ponto de conexão com a rede transmissão da energia onde ficara os painéis gerando a carga e a topografia dos terrenos (M. N. Silva et al., 2022; Governo Do Estado Do Piauí, 2019).

2.4 Fonte de energia limpa e sustentável

Energia limpa é uma categoria de fonte energética que gera energia sem causar malefícios ao meio ambiente e que faz parte da categoria renovável, tem-se como exemplo a energia solar fotovoltaica, que está apta atender uma alta demanda energética sem expelir gases que afetam a camada de ozônio e o clima terrenos (M. N. Silva et al., 2022). O desenvolvimento sustentável é uma concepção baseada em três aspectos primordiais: o econômico, social e o ambiental, nesse conceito a sustentabilidade do desenvolvimento não está relacionada apenas a administração de recursos naturais, mas como também depende da conduta da sociedade. O crescimento sustentável está relacionado diretamente com a priorização da qualidade do manuseio dos recursos naturais, que se preocupa com a extração de matérias-primas e com impactos ambientais (Santos, 2020).

A energia limpa e sustentável proveniente da luz solar tem-se tanto destaque na atualidade, que a Organização das Nações Unidas (ONU), incluiu esse tema é um dos seus 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que integram a Agenda 2030, que demonstram a escala e a ambição da nova Agenda universal. Com isso, os países interessados atuam de maneira colaborativa, se comprometendo a implementar a Agenda 2030. Tendo participação o setor privado, sociedade e líderes governamentais. A agenda entrou em vigor em 1º de janeiro de 2016 e o prazo para que os 17 ODS sejam cumpridos é até 31 de dezembro de 2030 (Oca Energia, 2021).

2.5 Lei de taxação do Sol

A Lei 14300/22 criou o Marco Legal da Geração Distribuída, essa lei basicamente instituiu a cobrança dos custos de distribuição para locais que produzem a própria energia e que não pagam a tarifa do uso de energia, porém compensa o uso com créditos de geração, até então regulamentados por Resoluções Normativas da ANEEL. De maneira simplificada, a lei 14300/22 tem por objetivo explicitar que o cliente pagará pelo uso da infraestrutura da concessionária nos momentos em que não houver geração simultânea de energia (Critéria Energia Solar, 2023). A nova regulamentação tem como principal vantagem trazer para o mercado uma segurança jurídica tanto para o distribuidor, quanto para o consumidor (Grupo Eficiência Solar, 2023).

Os clientes do Sistema de Compensação de energia elétrica (SCEE) que instalaram um SFV a partir do dia 07 de janeiro de 2023, começou-se a realização da cobrança, entretanto está previsto em lei que a transição para esse sistema de taxação aconteça de forma gradativa, sendo aumentada a taxa a cada ano de 15% (quinze por cento) a partir de 2023. Porém para os usuários que já possuíam, as regras só valerão a partir do ano de 2045. A taxa é referente ao pagamento do Fio B, que até determinado momento não era cobrado. Faz parte da composição da Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD), relacionado aos custos do uso de infraestrutura da rede de distribuição da concessionária local até chegar ao local que possui o SFV (Ferreira, 2023).

3. Metodologia

O referente artigo abrange uma pesquisa documental, pois foram utilizados os comprovantes de consumo mensal da instituição para o dimensionamento do sistema solar fotovoltaico (Marconi & Lakatos, 2011; Lima et al., 2021). Em paralelo foi realizada uma pesquisa de campo de natureza quantitativa para poder ajudar na comprovação dos dados disponíveis nos

documentos e fazer a quantificação dos aparelhos elétricos e eletrônicos da instituição (Marconi & Lakatos, 2011; Thibes, 2022).

A definição do local foi o ponto de partida do estudo, sendo escolhida a Christus Faculdade do Piauí – CHRISFAPI, localizada na cidade de Piripiri, no norte do Estado do Piauí. Os autores requereram e tiveram acesso a planilha produzida pela administração da IES com os dados advindos de faturas de energia correspondentes ao período de janeiro de 2022 a dezembro de 2022, constando consumo (em kWh) e valores (em R\$), das unidades I e II. Para a unidade III (em construção), a obtenção dos dados se deu em função da quantidade de aparelhos (ares-condicionados, projetores e lâmpadas) e seu tempo de funcionamento, previstos.

A partir desses dados foi obtido o consumo médio no período de um ano, para assim dimensionar através de cálculos um sistema fotovoltaico que suprisse a necessidade energética da faculdade. Posteriormente, com os resultados obtidos pelo dimensionamento, foi necessário o contato com duas construtoras do ramo de ESFV no município de Piripiri e Piracuruca (AC Solar e Norte Solar) para quantificar os materiais e os custos para implementação do sistema, obtendo assim um orçamento detalhado dos custos. Por fim, sendo possível a verificação da viabilidade de um SFV na Faculdade Chrisfapi e o tempo de retorno financeiro do investimento.

4. Resultados e Discussão

4.1 Caracterização da faculdade

O local de estudo desta pesquisa é uma faculdade, localizada no município de Piripiri – Piauí. Intitulada, Christus Faculdade do Piauí, que se encontra na Rua Acelino Resende, nº 132. Em suas instalações encontra-se disponíveis cursos superiores de Administração, Ciências Contábeis, Direito, Enfermagem, Educação Física, Engenharia Civil, Fisioterapia, Farmácia, Medicina Veterinária, Nutrição, Odontologia, Psicologia e Serviço social. Além disso, essa instituição é dividida em três prédios, Unidade I, Unidade II e Unidade III. A unidade I está dividida em dois pavimentos, sendo o piso inferior constituído por laboratórios para aulas práticas dos cursos, instalações administrativas, salas de aulas, cantinas, áreas de convivência, salas comerciais, sanitários, biblioteca e a UniCesumar, que é responsável pela oferta de cursos de pós-graduação (presencial e a distância). Já na parte superior está disponível apenas salas de aulas, laboratórios de informática, instalações para docentes, sala de conferência e sanitários.

A unidade II é o local onde ocorrem as aulas práticas dos cursos referentes a saúde, possuindo laboratórios, área de espera, cantina e sanitários. Ademais, a instituição está passando por uma ampliação, tendo como intuito os funcionamentos de novas salas de ensino, uma nova biblioteca e um auditório. O Quadro 1 a seguir, mostra detalhadamente a quantidade de instalações disponíveis nas três unidades.

Quadro 1 – Quantidade de espaços na Faculdade Chrisfapi.

Descrição	Quantidade
SALAS DE AULA	71
SALA ADMINISTRATIVAS	28
SALA PARA DOCENTES	4
SALA PARA REUNIÃO E EVENTOS	2
BIBLIOTECA	2
SANITÁRIOS	44
LABORATÓRIOS	17
PRAÇA DE ALIMENTAÇÃO	1
CANTINA	2
SALAS PARA XEROX	2

Fonte: Elaborado pelos próprios autores (2023);

A área da Instituição de Ensino Superior (IES) corresponde a 7.664 m² de área construída. Esse valor foi atribuído as três unidades, sendo a área de cobertura equivalente a 4.767,76 m². O resultado foi alcançado a partir de uma multiplicação da área total do telhado e o fator de inclinação (1,001), por razão que a inclinação do telhado é de 15% (Quadro 2). Nos Quadros 3 e 4 a seguir, está a área construída, como também a área do telhado de cada unidade.

Quadro 2 – Fator de inclinação.

Inclinação (%) = tangente	Graus	Rad	Fator: 1/ cos(x)
0%	0	0	1
5%	2,86	0,049916	1,001
10%	5,71	0,099658	1,005
15%	8,53	0,148877	1,011
20%	11,31	0,197397	1,02
25%	14,04	0,245044	1,031
30%	16,7	0,29147	1,044
35%	19,29	0,336674	1,059
40%	21,8	0,380482	1,077
45%	24,23	0,422893	1,097
50%	26,57	0,43734	1,118

Fonte: Adaptado, Miranda (2023).

Quadro 3 – Área construída.

Descrição	Área
UNIDADE I	5.072,00
UNIDADE II	1.080,00
UNIDADE III	1.512,00
TOTAL	7.664,00

Fonte: Elaborado pelos próprios autores (2023).

Quadro 4 – Área de cobertura

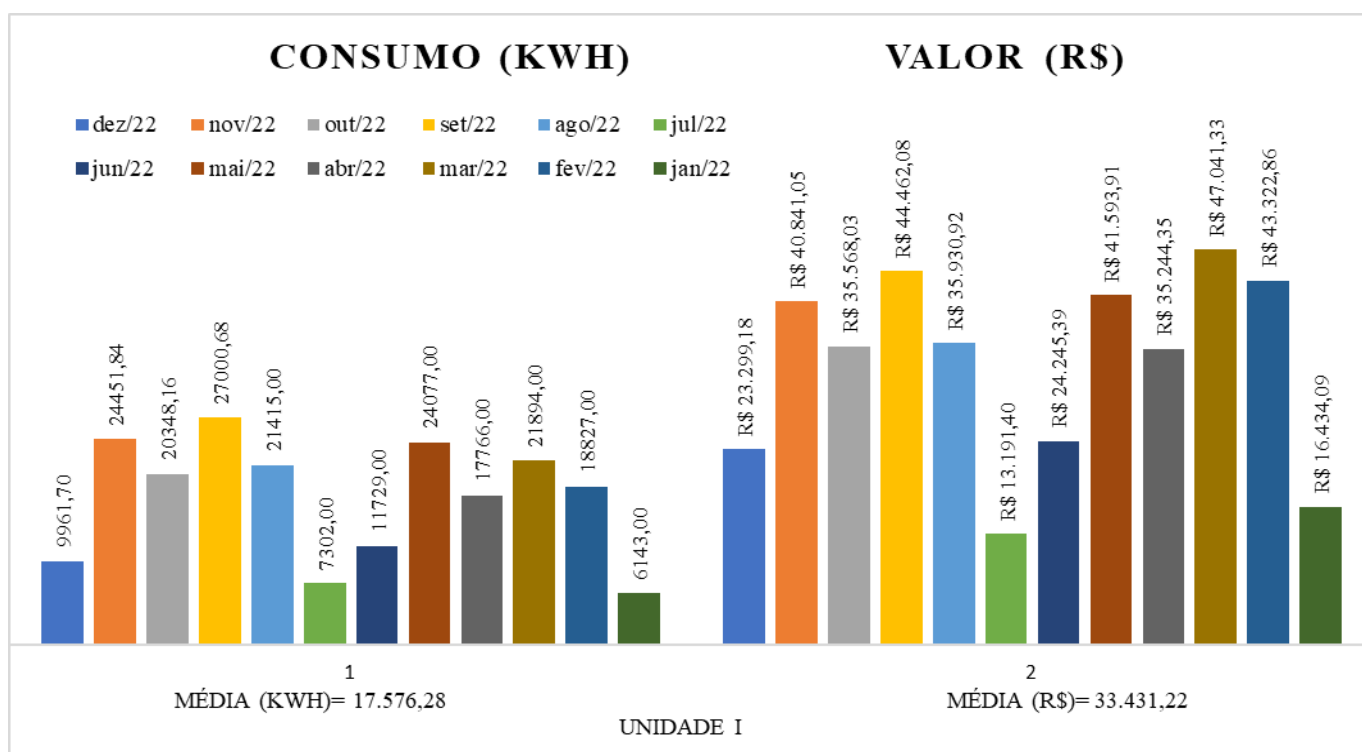
Descrição	Área (M ²)	Fator De Inclinação (15%)	Área Total (M ²)
UNIDADE I	2.744,00	1,001	2.746,74
UNIDADE II	1.221,00	1,001	1.222,22
UNIDADE III	798,00	1,001	798,80
TOTAL			4.767,76

Fonte: Elaborado pelos próprios autores (2023).

4.2 Dimensionamento do sistema

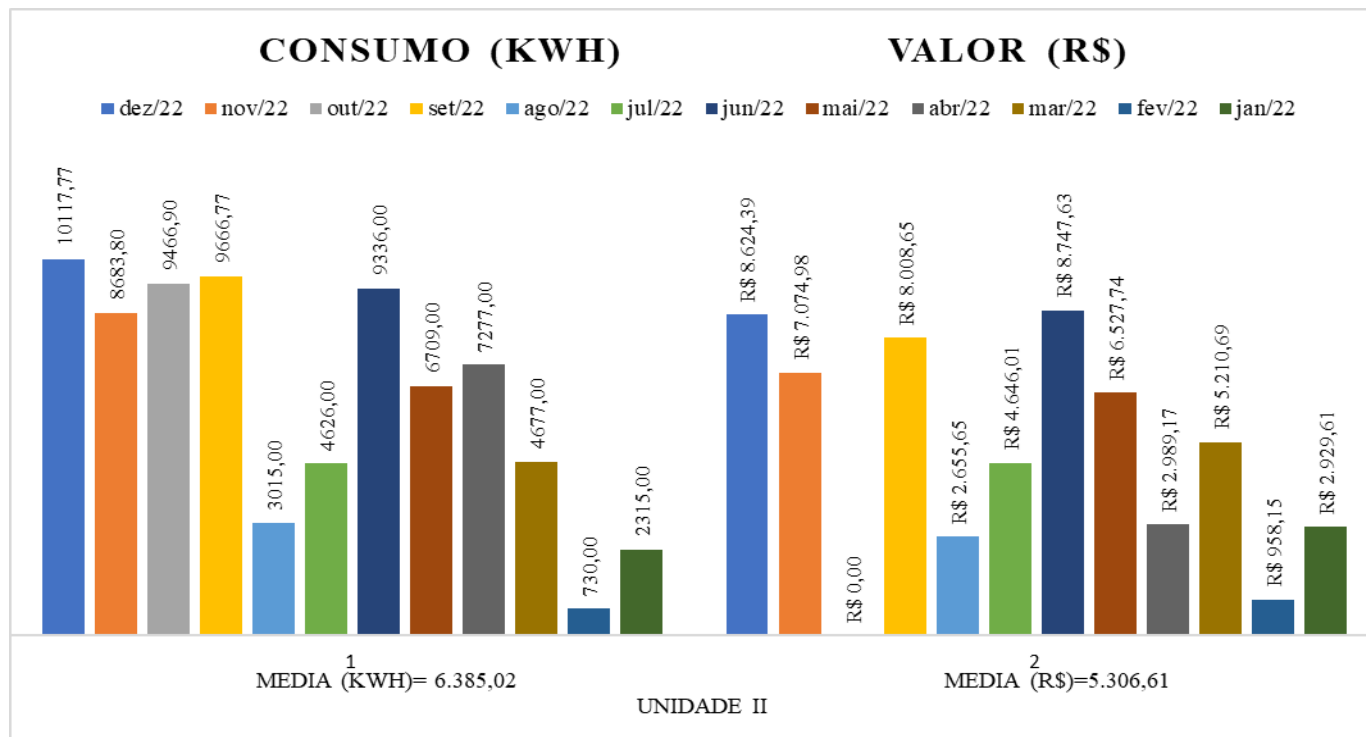
O SFV dimensionado é um sistema “on grid”, devido atuar como fonte de energia secundária e permitir uma possível renda da energia excedente que não foi utilizada. Obteve-se as faturas dos últimos 12 meses da instituição, Unidade I e II, o período escolhido foi de janeiro de 2022 a dezembro de 2022 (Gráficos 1 e 2). Esses documentos foram necessários para aquisição do consumo de energia (quilowatt-hora – kWh) e valor (em reais – R\$) de cada fatura, para assim adquirir o consumo médio necessário para os cálculos (Weber, 2019). Em relação a Unidade III, que ainda não está em funcionamento, os valores de consumo foram obtidos a partir da previsão dos aparelhos elétricos e eletrônicos que ainda serão instalados no prédio, portanto os valores obtidos foram visando o pleno funcionamento (kWh máximo) e não a média (Quadro 5).

Gráfico 1 – Faturas de 2022: Unidade I.



Fonte: Adaptado, Coordenação Administrativa (2023).

Gráfico 2 – Faturas de 2022: Unidade II.



Fonte: Adaptado, Coordenação Administrativa (2023).

Quadro 5 – Aparelhos e consumo: Unidade III.

Biblioteca e auditório					
Aparelhos	Qtde	Pot. Unit. (kW)	Pot. Geral (kW)	Tempo (h)	Consumo (kWh/mês)
Ar Cond. (Springer)	34	1,6	54,4	300	16320
Lâmpada de tubo	148	0,02	2,96	300	888
Projektor (datashow)	12	0,145	1,74	300	522
Tot. (kWh/mês)					17730

Fonte: Elaborado pelos próprios autores (2023).

Com os valores de consumo médio de cada uma das 3 unidades da faculdade, respectivamente, (17.576,28 kWh/mês, 6.385,02 kWh/mês, 17730,00 kWh/mês) é necessário subtrair esse valor pela parcela referente a “taxa de disponibilidade” para a obtenção da Energia de Geração. Segundo a Resolução 1000/2021 da ANEEL, para as unidades monofásicas a cobrança é equivalente a 30 kWh, já as bifásicas a cobrança mínima é de 50 kWh e para as unidades trifásicas o valor corresponde a 100 kWh. Ressaltando que a instituição em estudo possui todos os seus setores com unidades trifásicas.

Para o cálculo da potência geral dos painéis fotovoltaicos necessários no sistema é preciso da Energia de Geração, tempo de exposição da radiação solar sobre os painéis (HSP=horas/dia) e taxa de desempenho das placas solares. O site do Centro de Referência para Energias Solar e Eólica (CRESESB), foi o órgão utilizado para a consulta dos dados de irradiação solar da cidade de Piripiri, baseado nas coordenadas geográficas da instituição (Carvalho & Lage, 2019). A exata localização possui a Latitude de 4° 16’ 41,63” (Sul) e Longitude de 41° 46’ 19,93” (Oeste). Na Figura 4 é possível verificar a irradiação solar diária média mensal do município de Piripiri.

Figura 4 – Cálculo do Plano Inclinado de Piri-piri – PI.

Estação: Piri-piri
Município: Piri-piri, PI - BRASIL
Latitude: 4,301° S
Longitude: 41,749° O
Distância do ponto de ref. (4,278231° S; 41,772202° O): 3,6 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
☑	Plano Horizontal	0° N	5,21	5,35	5,37	5,06	5,22	5,25	5,49	6,13	6,52	6,43	6,27	5,71	5,67	1,46
☑	Ângulo igual a latitude	4° N	5,09	5,27	5,36	5,13	5,37	5,43	5,67	6,26	6,55	6,36	6,12	5,54	5,68	1,47
☑	Maior média anual	5° N	5,05	5,25	5,36	5,14	5,40	5,48	5,72	6,29	6,56	6,34	6,08	5,50	5,68	1,50
☑	Maior mínimo mensal	3° N	5,12	5,30	5,37	5,11	5,33	5,39	5,63	6,23	6,55	6,38	6,16	5,59	5,68	1,43

Fonte: Adaptado, Cresesb (2023).

A irradiação captada pelos painéis solares sofre algumas perdas por conta do sombreamento, cabeamento e das correntes, incompatibilidade elétrica, inversor e temperatura. Por isso é importante o cálculo dessas perdas, que variam de 0,5% a 18% para cada elemento, portanto o sistema dimensionado as perdas foram consideradas os valores médios de cada elemento resultando na perda de 21% (Fotaic – Energia Solar, 2019).

A partir dos dados apresentados, definiu-se a potência total dos painéis solares na IES, por meio da seguinte fórmula (Fórmula 1). No Quadro 6 estão dispostos os cálculos e seus resultados obtidos, utilizando a fórmula para a unidade I, II e III.

Fórmula 1 – Potência Total dos Painéis Solares.

$$Pt_{\text{painéis}} = \frac{\text{Energia de Geração (kWh)} - \text{Taxa de Disponibilidade (kWh)}}{\text{Tempo de exposição} * \text{rendimento} (\%) * 30,4}$$

Fonte: Fotaic – Energia Solar (2019).

Quadro 6 – Cálculo da potência total dos painéis solares

Potência Total Painéis Solares			
Unidade	Cálculo	Total (kWp)	Total (Wp)
I	$\frac{17576,28 - 100}{5,68 * 0,79 * 30,4}$	128,11	128110
II	$\frac{6385,02 - 100}{5,68 * 0,79 * 30,4}$	46,07	46070
III	$\frac{17730,00 - 100}{5,68 * 0,79 * 30,4}$	129,24	129240
Somatório		303,42	303420
obs.: Wp= Watts-pico			

Fonte: Elaborado pelos próprios autores (2023).

Para calcular a quantidade de módulos fotovoltaicos a serem utilizados, definiu-se o painel com melhor custo-benefício, ou seja, o que possui (Custo/Wp = R\$ 836,07 / 465 = 1,8) menor valor. Dentre os modelos disponíveis no mercado o escolhido para utilização no SFV foi o “Resun 465W”, que apresenta uma potência de geração de 465 W, tendo suas características no Quadro 7 a seguir. Com isso determinou-se que para suprir a instituição de estudo são necessários 653 painéis solares (Oliveira, 2019).

Quadro 7 – Características mecânicas e elétricas do painel solar.

Módulo Fotovoltaico (Resun 465 W)	
Células Solares	Half-Cell Mono 166x83mm, 9 bus bars
Configuração da células	144 Células (6x24)
Dimensões dos módulos	2102*1040*35mm
Peso	22,6KGS
Material da Armação	3,2mm (Vidro Temperado)
J-BOX	IP68, 3 Diodos
Cabo	4mm ² (IEC)/12AWG(UL),300mm(+)/300mm(-)
Conectores	MC4 ou MC4 comparável
Máxima Potência	465W
Voltagem de circuito aberto	49,9V
Corrente de curto-circuito	11,82A
Tensão máxima de energia	42,09V
Corrente máxima	11,05A
Eficiência do módulo	21,30%

Fonte: Adaptado, Resun Solar Energy (2023).

O próximo passo foi definir o inversor para o SFV. Com base em uma análise minuciosa em questão de qualidade de produto, confiabilidade de mercado e melhor custo-benefício, definiu-se que os inversores a serem utilizados no sistema solar fotovoltaico são do modelo GROWATT MAX 60KTL3-XL2 (Quadro 8). Para o cálculo de inversores, primeiramente necessitou da potência total das placas, ((quantidade de placas * potência do módulo solar) / 1000 = ((653*465) / 1000 = 303.645Wp). Definida a potência do inversor (90000W), tem-se (303.645 / 90000 = 3,37 inversores), sendo considerado previamente a quantidade de 4 inversores (Ac Solar, 2023).

Quadro 8 – Ficha de dados do inversor.

Inversor Fotovoltaico (Growatt Max 60ktl3-XL2)	
Máxima Potência CC	90000W
Faixa de Tensão MPP	180V-850V
Tensão de partida	195V
Tensão nominal	370V
Faixa de potência Máxima	370V-650V
Nº de MPPT	8
Nº de Strings FV por MPPT	2
Máxima corrente de entrada por MPPT	45A
Máxima Corrente de Curto-Circuito por MPPT	56,5A

Fonte: Adaptado, Growatt (2023).

O inversor escolhido possui 8 MPPTs (sistema que monitora de forma contínua os parâmetros elétricos na entrada), para nova verificação da quantidade de inversores fez-se os seguintes cálculos baseados na voltagem máxima do inversor e do painel fotovoltaico (850 / 49,9 = 17,03). Portanto, para cada entrada MPPT serão instaladas 17 placas em série, entretanto observou-se que 4 inversores foram possíveis conectar apenas (17*(4*8) = 544 painéis solares), por conta disso foi preciso

adicionar mais um inversor com as mesmas características, com isso totalizando 5 inversores, 17 placas fotovoltaicas por MPPT (40 entradas), sobrando assim entradas para adição de mais módulos solares, se fosse necessário (Oliveira, 2019).

Dimensionado os painéis fotovoltaicos e os inversores solares, necessita-se do quantitativo dos aparelhos acessórios incluídos no SFV, como por exemplo: cabeamento (variando de 4 mm a 20 mm), fusíveis, “dps” (dispositivos de proteção contra surtos), disjuntores e “strings box”. A maior parte do custo de um sistema solar fotovoltaico encontra-se nas placas e inversores, portanto para inclusão do custo dos aparelhos acessórios considerou-se uma majoração de 30% do valor (Ac Solar, 2023; Ferreira, 2023).

4.3 Levantamento de custo

Segundo Oliveira et al. (2021), o levantamento do custo final foi baseado nos insumos e equipamentos manuseados para a instalação do sistema fotovoltaico, que levou em conta os dados do dimensionamento, como: número de placas para suprimir a necessidade energética das três unidades citada no trabalho, tipo de inversor e potência total do sistema. Os equipamentos necessários, quantidades e os valores estão citados no Quadro 9.

Quadro 9 – Custos do sistema fotovoltaico.

Equipamento	Und	Quant	Valor Unit	Valor Total (R\$)
Módulo Fotovoltaico Resun 465W	unid	653,00	836,07	545.953,71
Inversor GROWATT MAX 60KTL3-XL2	unid	5,00	36.198,70	180.993,50
Estrutura de Fixação	unid	164,00	40,00	6.560,00
Projeto	unid	1,00	3.000,00	3.000,00
Mão de obra	dia	47,00	340,00	15.980,00
Aparelhos acessórios incluídos no SFV	unid	1,00	217.646,20	217.646,20
TOTAL (R\$)				970.133,41

Fonte: Adaptado, AC Solar e Construtora (2023).

Os valores da tabela tiveram como referência um diálogo com uma empresa de instalação de sistemas de energia fotovoltaica, localizada em Piripiri (Ac Solar e Construtora). De acordo com um funcionário dessa empresa, o item mão de obra está baseado em uma equipe de 3 funcionários, que produzem 14 placas diariamente, dessa forma eles levariam 47 dias para concluir a obra. O valor da diária apresentada no Quadro 10 abaixo está incluso, transporte e alimentação.

Quadro 10 – Gastos na execução.

Item	Valor Unitário Por/ Dia	Valor (R\$)	Total (R\$)
Quantidade De Funcionário	3,00	100,00	300,00
Ferramentas	Geral	40,00	40,00
Total			340,00

Fonte: AC Solar e Construtora (2023).

Para as estruturas de fixação, utilizou-se o valor de R\$ 40,00, que tem capacidade fazer o aterramento universal de 4 painéis, totalizando 164 estruturas de fixação, sua informação foi retirada da plataforma de vendas mercado livre, juntamente com valor do inversor e as placas fotovoltaica. (Minha Casa Solar, 2023).

4.4 Levantamento do retorno financeiro

Os dados a seguir foram utilizados para confirmar a viabilidade do projeto e seu tempo de retorno do investimento inicial na tabela seguinte (Quadro 11), (Oliveira et al., 2021).

- Valor investido: R\$ 970.133,41;
- Geração mensal: 42.000 kW;
- Média do valor kW atual: R\$ 0,832785 (Norte Solar, 2023).

RETORNO DO INVESTIMENTO= VALOR INVESTIDO/ (GERAÇÃO MENSAL* MÉDIA DO VALOR KW)

RETORNO DO INVESTIMENTO = R\$ 970.133,41 / (42.000*0,832785)

RETORNO DO INVESTIMENTO= 27,37

RETORNO DO INVESTIMENTO= 28 Meses

Quadro 11 – Retorno do investimento.

	Média De Produção	Custo Kw	Retorno
MÊS	42.000	0,832785	34.976,97
ANO 1	504.000,00	0,832785	419.723,64
ANO 2	1.008.000,00	0,832785	839.447,28
28 MESES	1.176.000,00	0,832785	979.355,16

Fonte: Elaborado pelos próprios autores (2023).

Levando em consideração o valor médio dos últimos 12 meses das três unidades (média do valor mensal em kWh) e o valor inicial investido, o tempo de retorno do investimento será de 28 meses, sabendo-se que pode haver alterações conforme a mudança de taxação e consumo do cliente.

5. Conclusão

Este trabalho teve como propósito analisar a viabilidade, no âmbito financeiro e ambiental, a partir da implementação de um SFV em uma faculdade localizada no interior do Piauí. Foram abordadas questões energéticas, devido influenciar o bem-estar da população, economia e meio ambiente. A revisão bibliográfica permitiu entender o quão prejudicial são os combustíveis fósseis, além de serem finitos. Por isso a importância e necessidade de substituir essas fontes de energias que são prejudiciais pelas fontes de energia renováveis, destacando-se a energia solar fotovoltaica, pois embora os custos de instalação sejam altos, a relação custo/benefício dessa fonte é baixa e um dos mais indicados para suprir a demanda energética de um local (residências, instituições e indústrias).

Foram feitos cálculos matemáticos para o dimensionamento do sistema fotovoltaico e análise financeira, com os resultados obtidos chegou-se à conclusão de que a execução do projeto é viável quando comparado ao valor pago a distribuidora de energia. Foi necessário definir o modelo de sistema de geração (“on grid”), valores médios de consumo, irradiação solar para a localidade da instalação e normas vigentes. O custo total para aquisição do SFV foi de R\$ 970.133,41, sendo a economia no primeiro ano de R\$ 419.723,64 com uma geração de 504.000,00 kWh, o segundo ano teve uma economia de R\$ 839.447,28 e uma geração de 1.008.000 kWh. O tempo de retorno do investimento é de 2 anos e 4 meses, comprovando assim a sua rentabilidade, devido o tempo de eficiência do modelo de placa fotovoltaica definido para o sistema ser de 25 anos.

Por fim é importante ressaltar que não foi considerado no dimensionamento do sistema fotovoltaico na Chrisfapi a “taxa do Sol” (taxação imposta no início do ano de 2023) e as cargas suportadas pelo telhado metálico da faculdade (não sabendo assim se permanecerá ou será preciso substituir por outra cobertura de um material diferente), assim servirá como

pontos de continuação para estudos futuros.

Referências

- Ab Solar. (2020). Energia Solar é Limpa? Entenda seu Conceito e Tecnologias. *Absolar – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica*. <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-e-limpa-entenda-seu-conceito-e-tecnologias>.
- Ab Solar. (2022). Brasileira no Piauí abrigará um dos maiores parques solares do País. *Absolar – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica*. <https://www.absolar.org.br/noticia/brasileira-no-piaui-abrigara-um-dos-maiores-parques-solares-do-pais>.
- Ab Solar. (2022). Inversor solar, o que é e pra que serve? *Absolar – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica*. <https://www.absolar.org.br/noticia/inversor-solar-o-que-e-e-pra-que-serve>.
- Ac Solar e Construtora. (mai. 2023). *Entrevista*. Entrevistador: Mayrã do Nascimento Silva. Piripiri, PI.
- Aneel. (2012). Resolução normativa nº 482, 17 abr. 2012. *Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL*. <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>.
- Aneel. (2015). Resolução normativa nº 687, 24 nov. 2015. *Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL*. <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>.
- Aneel. (2021). Resolução normativa nº 1000, 07 dez. 2021. *Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL*. <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/atren20211000.pdf>.
- Bellinaso, L. V., & Michels, L. (2022). Inversores Fotovoltaicos Híbridos com Armazenamento de Energia em Baterias. In *Anais do Congresso Brasileiro de Energia Solar – Cbens*, Florianópolis, SC.
- Blue Sol. (2021). *As 5 Principais Questões sobre o Módulo Fotovoltaico Respondidas para Você Entender Tudo*. *Bluesol- Blue sol energia solar*. <https://blog.bluesol.com.br/modulo-fotovoltaico>.
- Carvalho, F. S., & Lage, E. G. S. (2019). Método de análise e dimensionamento do sistema fotovoltaico ongrid. *Technology Science*, 1(2), 24-36.
- Cgn. (2023). Parque Solar Nova Olinda. *CGN Brazil Energy*. <https://cgnbe.com.br/empreendimento/parque-solar-nova-olinda>.
- Cosmo, B. M. N., Galeriani, T. M., Novakoski, F. P., & Ricini, B. M. (2020). Carvão Mineral. *Revista Agronomia Brasileira*, 4(1).
- Costa, G. C. A., Moraes, A. M., Sales, H. B. C., Silva, P. C. Jr., Nunes, M. O. F., & Lira, M. A. T. (2022). Desenvolvimento de materiais didáticos para ensino e aplicação da energia solar fotovoltaica no contexto escola: Projeto Escolas Solares no Piauí. *IX Congresso Brasileiro de energia Solar*. Florianópolis, SC.
- Cresesb. (2023). Potencial Solar – Sundata 3.0. *Centro de Referências para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito*. <https://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>.
- Crítéria energia solar (2023). Quer reduzir sua conta de luz, vamos lá! *Crítéria energia solar*. <https://criteriaenergia.com.br/>.
- Epe. (2023). O que é energia? *Empresa de Pesquisa Energética - EPE*. <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/o-que-e-energia>.
- Ferreira, L. S. (2023). Miniusina Fotovoltaica: Um Estudo De Caso Na Elaboração De Um Projeto Para O Autoconsumo Dos Setores Públicos Municipais Na Cidade De Barro – Ce. *Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - Campus Cajazeira*, Cajazeira, CE.
- Fjsolar. (2023). Como funciona e quais os tipos de energia solar fotovoltaica? *FJ Solar: Sol a melhor solução*. <https://fjsolar.com.br/como-funciona/>.
- Fortes, R. S. (2022). Dimensionamento e estudos da viabilidade de implementação de um sistema fotovoltaico para indústria de pequeno porte. *Monografia (Engenharia Elétrica) – Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto*, João Monvelade, MG.
- Fotaic. (2019). Dimensionamento Sistema Solar Fotovoltaico. *Fotaic – Energia Solar*. <https://fotaic.com.br/post/dimensionamento-sistema-solar-fotovoltaico>.
- Growatt. (2023). Inversor Fotovoltaico Comercial e Industrial. *Growatt*. <https://br.growatt.com/products/max-50-75ktl3-xl2>.
- Grupo eficiência solar (2023). Lei 14.300 ou “taxação do sol” – ainda vale a pena investir em energia solar? *Grupo eficiência solar*. <https://www.grupoeficienciasolar.com.br/lei-14-300-ou-taxacao-do-sol-ainda-vale-a-pena-investir-em-energia-solar/>.
- Inmet. (2022). Previsão do Tempo. *Instituto Nacional de Meteorologia – INMET*. <https://portal.inmet.gov.br>.
- Intelbras. (2021). Sistemas fotovoltaicos híbridos: o que são e o que diz a Aneel. *Intelbras Blog*. <https://blog.intelbras.com.br/sistemas-fotovoltaicos-hibridos>.
- Lei n. 14.300, de 6 de janeiro de 2022. (2022). Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/114300.htm.
- Lima, E. B. Jr., Oliveira, G. S., Santos, A. C. O. & Schnekenberg. (2021). Análise Documental Como Percurso Metodológico Na Pesquisa Qualitativa. *Cadernos Da Fucamp*. 20(44), 36-51.
- Machiavelli, J., Mendonça, C. M., Almeida, L. V., & Kaehler, J. W. M. (2020, fevereiro). Energia solar fotovoltaica, montagem de um sistema de rede off-grid. In *Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão*, Alegrete, RS.
- Marconi, M. A., & Lakatos, E. M. (2011). *Metodologia científica*, Atlas.

- Milone, D. C., Wuensche, C. A., Rodrigues, C. V., D'Amico, F., Jablonski, F. J., Capelato, H. V. ... Villela, T. (2019). Introdução à Astronomia e Astrofísica. *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE*. São José dos Campos, SP.
- Minha casa solar (2023). Painel Solar 465w Resun Monocristalino Half-Cell - RS7I-465M. Minha casa solar. <https://www.minhacasasolar.com.br/produto/painel-solar-465w-resun-monocristalino-half-cell>.
- Miranda, P. (2023). Como calcular a quantidade de telhas para o telhado. *Aecweb*. <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/como-calculer-a-quantidade-de-telhas-para-o-telhado/17588>.
- Neosolar. (2023). Painel solar fotovoltaico - canadian solar. *Neosolar*. <https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-canadian>.
- Norte Solar. (mai 2023). *Entrevista*. Entrevistador: Bruna Caroline Oliveira Silva, Piracuruca, PI.
- Oca Energia. (2021). Como a energia solar pode contribuir com a agenda 2030 da ONU. *Oca Energia*. <https://www.ocaenergia.com/blog/podcast/como-a-energia-solar-pode-contribuir-com-a-agenda-2030-da-onu>.
- Oliveira, C. S., Silva, C. M. & Oliveira, J. A. R. (2021). Estudo Da Viabilidade E Implantação De Um Sistema Fotovoltaico Em Um Restaurante Em Catalão (Go). *Repositório Universitário da Ânima (RUNA)*, Tubarão, SP.
- Oliveira, P. L. (2019). Estudo de Viabilidade da Implantação de um Sistema de Energia Solar Fotovoltaica em uma Residência. *Universidade Federal De Ouro Preto – Ufop, Escola De Minas Departamento De Engenharia Ambiental*, Ouro Preto, MG.
- Portal solar (2023). O que é e como funciona o vidro fotovoltaico. *Portal solar - Primeiro e maior portal de energia do Brasil*. <https://www.portalsolar.com.br>.
- Ppp – Piauí. (2023). Estudo da viabilidade de miniusinas de energia solar fotovoltaica. *Governo do Estado Piauí*. <http://www.ppp.pi.gov.br/pppteste>.
- Resun Solar. (2023). RS7I-M. *Resun Solar Energy*. <https://www.resunsolar.com/wp-content/uploads/2022/09/RS7I-M-425-460M-min.pdf>.
- Santos, R. B., Martins, V. R., & Borges, R. R. S. (2020). Sistema de energia solar a partir de células fotovoltaicas: Estacionamento solar do Centro Universitário Unievangélica. *Brazilian Journal of Development*, 4(6), 20097-20106.
- Silva, E. C., Bruno, D. M., & Florian, F. (2022). Energia fotovoltaica: sistema on grid (sistema conectado à rede elétrica). *Revista Científica Multidisciplinar*, 3(1).
- Silva, M. N., Silva, B. C. O., & Carvalho, G. K. G. (2022). Análise Econômica da Energia Solar Fotovoltaica Piauiense: Estudo de caso nos municípios de Piripiri e Piracuruca. *Pesquisas e Inovações em Engenharias*. Campo Grande, MS: Inovar.
- Souza, M. M. (2022). Viabilidade técnica de uma usina solar fotovoltaica de 1mw sistema de cooperativa. *Repositório Universitário da Ânima (RUNA)*, Tubarão, SP.
- Thibes, F. (2022). Veja o que é pesquisa de campo e quais suas principais etapas. *Uninassau*. <https://blog.uninassau.edu.br/pesquisa-de-campo/>.
- Weber, L. G. (2019). *Energia Solar Fotovoltaica como Fonte de Energia de Geração de Energia: Estudo de Caso. Monografia apresentada ao Centro Facvest – UNIVACVEST, Lages, (SC)*.