UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS CAMPUS DO SERTÃO EIXO DAS TECNOLOGIAS CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GUILHERME WILLAMES DE QUEIROZ LISBÔA

VIABILIDADE TÉCNICA-FINANCEIRA DA IMPLANTAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO PROCESSO DE REDUÇÃO DE GASTOS COM ENERGIA ELÉTRICA NO HOSPITAL MUNICIPAL DE PETROLÂNDIA-PE

Delmiro Gouveia 2022

GUILHERME WILLAMES DE QUEIROZ LISBÔA

VIABILIDADE TÉCNICA-FINANCEIRA DA IMPLANTAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO PROCESSO DE REDUÇÃO DE GASTOS COM ENERGIA ELÉTRICA NO HOSPITAL MUNICIPAL DE PETROLÂNDIA-PE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Odair Barbosa de Moraes

Delmiro Gouveia 2022

Catalogação na fonte Universidade Federal de Alagoas Biblioteca do Campus Sertão Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza - CRB-4/2209

L769v Lisboa, Guilherme Willames de Queiroz

Viabilidade técnica-financeira da implantação de energia solar fotovoltaica no processo de redução de gastos com energia elétrica no Hospital Municipal de Petrolândia - PE / Guilherme Willamês de Queiroz Lisboa. – 2022.

86 f.: il.

Orientação: Odair Barbosa de Moraes. Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2022.

1. Energia solar fotovoltaica. 2. Energia renovável. 3. Viabilidade técnica-financeira. 4. Redução de custos. 5. Hospital Municipal de Petrolândia - Pernambuco. I. Moraes, Odair Barbosa de. II. Título.

CDU: 551.521.37

Folha de Aprovação

GUILHERME WILLAMES DE QUEIROZ LISBOA

Viabilidade Técnica-Financeira da implantação de energia solar fotovoltaica no processo de redução de gastos com energia elétrica no Hospital Municipal de Petrolândia-PE

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão e aprovado em 20 de dezembro de 2022.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Odair Barbosa de Moraes, UFAL – Campus do Sertão (Orientador)

Han Borlose de Morses

Prof. MSc. Rogério de Jesus Santos, UFAL – Campus do Sertão (Avaliador Interno)

Logério de Jesus Somios

Documento assinado digitalmente

MELYSSA SOUSA DE LAVOR
Data: 05/01/2023 15:46:16-0300
Verifique em https://verificador.iti.br

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que tanto olha por mim e pelos meus e me permite vivenciar experiências incríveis, tais como a graduação e cada passo dado, rumo àquilo que acredito que devo ser e cumprir com gratidão pela vida.

Agradeço à minha mãe, Adriana, que sempre esteve ao meu lado demonstrando seu amor, seu cuidado, sua confiança e que tanto se esforçou e se esforça para que seus filhos alcancem aquilo que almejam. Agradeço também ao meu pai, Jailson, por todo ensinamento, parceria e esforço depositado na criação e educação dos seus filhos, bem como o exemplo de homem honesto e trabalhador. Agradeço às minhas irmãs Vitória e Nicolly, ao meu cunhado e irmão, Bruno e aos demais familiares que participaram, incentivaram e me apoiaram nessa fase da minha trajetória. Sem vocês, eu não estaria onde estou, nem seria quem sou.

Agradeço à minha namorada landra, que desde o segundo ano de graduação está presente em minha vida, demonstrando o seu amor e companheirismo em todos os momentos, sendo peça essencial para a manutenção do equilíbrio necessário para lidar com todas as adversidades encontradas no caminho.

Durante esse período construí amizades que, de diversas maneiras fizeram com que a caminhada fosse mais feliz até aqui. Agradeço a vocês, Felipe, Anthony, Ewerton, Murilo, Noé, Leonardo, Ailton, Erika, Fábio, Zezão e Veio Nelson. Em especial, aos amigos Ítalo, Júlio e Brennda com quem tive maior conexão e dividi maior parte desse período, obrigado por cada momento.

Agradeço também aos meus amigos do Novo Basquete Petrolândia, meu time NBP, por todos os momentos compartilhados e ensinamentos nesses dois anos de desenvolvimento pessoal.

Por fim, um agradecimento especial ao professor e orientador desse trabalho, Dr. Odair, que em diferentes oportunidades contribuiu para o meu desenvolvimento acadêmico. Agradeço também a todo o corpo docente da universidade e aos demais funcionários que estiveram a prestar os seus serviços em prol do pleno funcionamento do campus. A colaboração de vocês foi imprescindível.

"Eu colocaria o meu dinheiro no sol e na energia solar. Que fonte de energia! Espero que não tenhamos que esperar até que o petróleo e o carvão acabem para fazer isso."

(Thomas Edison)

RESUMO

Sabe-se que o consumo e os custos com energia elétrica advindos dos órgãos e instituições públicas compõem, aproximadamente, 8,5% do consumo total do país segundo SANTOS (2009) e que o Brasil tem, há anos, uma das contas de luz mais caras do mundo. Ante isso, estuda-se as questões de viabilidade técnica-financeira para a implantação de sistemas de geração própria de energia, oriunda de fontes renováveis em prédios públicos, a fim de analisar possibilidades de promover a redução destes custos gerados pelo setor público. Este trabalho analisa a aplicação de geração de energia solar fotovoltaica para obtenção dos resultados esperados na redução de custos. Para isso, é importante conhecer os conceitos e o momento atual da energia solar fotovoltaica, entender e caracterizar os sistemas fotovoltaicos, suas especificidades e tecnologias disponíveis, além de instruir-se e utilizar de indicadores financeiros e critérios técnicos para concluir se é viável realizar o projeto. Assim, efetua-se uma pesquisa exploratória de abordagem qualitativa, onde foram realizadas bibliografia e coleta de dados para análise de viabilidade técnica-financeira da implantação de dois sistemas fotovoltaicos dimensionados para, no primeiro caso, tornar a instituição autossuficiente e no segundo caso gerar economia com a redução parcial dos custos. Ante o exposto, verifica-se que os sistemas dimensionados para estudo de caso no Hospital Municipal de Petrolândia-PE, se mostraram de implantação viável tecnicamente e que os índices de economia ao longo da vida útil do projeto, apontaram para alta lucratividade no investimento. Os valores de VPL, TIR e Payback encontrados apresentaram valores positivos. Espera-se então, que o projeto tenha sucesso e que possa ser uma alternativa relevante e de considerável contribuição na busca por maior eficiência e aproveitamento energético dentre as instituições públicas.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica; Viabilidade técnica-financeira; redução de custos; Energia elétrica; setor público.

ABSTRACT

Bearing in mind that the consumption and costs of electricity from public agencies and institutions make up a large part of the total energy consumption in the country and that Brazil has, for years, had one of the most expensive electricity bills in the world, technical-financial feasibility issues are studied for the implementation of own energy generation systems from renewable sources in public buildings, in order to analyze possibilities to promote the reduction of these costs generated by the public sector. This work analyzes the application of photovoltaic solar energy generation to obtain the expected results in cost reduction. For this, it is important to know the concepts and the current moment of photovoltaic solar energy, understand and characterize photovoltaic systems, their specificities and available technologies, in addition to be understand and using financial indicators and technical criteria to conclude if it is feasible to carry out the project. Thus, an exploratory research with a qualitative approach was carried out, where bibliographic and data collection were carried out to analyze the technical-financial feasibility of the implementation of two photovoltaic systems designed to, in the first case, make the institution self-sufficient and in the second case be generate savings with partial cost reduction. In view of the above, it appears that the systems designed for a case study at the Municipal Hospital of Petrolândia-PE, proved to be technically viable and that the savings rates throughout the life of the project pointed to high profitability in the investment. The NPV, IRR and Payback values found were satisfactory. It is concluded, then, that the project is successful and can be a relevant alternative and of considerable contribution in the search for greater efficiency and energy in the use among public institutions.

Keywords: Solar photovoltaic energy; Technical-financial feasibility; cost reduction; Electricity; public setor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ranking dos 25 países com maior consumo de energia no mundo	17
Figura 2 – Oferta de energia interna no Brasil	24
Figura 3 – Estrutura de uma célula fotovoltaica	27
Figura 4 – Células do tipo cristalinas	28
Figura 5 – Filme fino de silício amorfo	
Figura 6 – Filme fino de silício cristalino	29
Figura 7 – Estrutura de um módulo fotovoltaico	31
Figura 8 – Componentes de um sistema autônomo (off-grid)	32
Figura 9 – Componentes de um sistema conectado à rede (on-grid)	33
Figura 10 – Planta de situação do prédio	40
Figura 11 – Arranjo do Sistema I conectado	71
Figura 12 – Arranjo do Sistema II conectado	72
Figura 13 – Tabela de cálculos no Excel do Sistema I	74
Figura 14 – Tabela de cálculos no Excel do Sistema II	75
Figura 15 – Foto do arranjo dos blocos do Prédio, cedido pela diretoria do Hosp	oital
	77
Figura 16 – Foto da planta de cobertura do prédio	78
Figura 17 – Datasheet BYD MLTK-36, a	80
Figura 18 – Datasheet BYD MLTK-36, b	81
Figura 19 – Datasheet SOFAR TL 60000, a	82
Figura 20 – Datasheet SOFAR TL 60000, b	83
Figura 21 – Orcamento do sistema para 192 kWp, excluso transformador	85

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Fornecimento total de Energia no Mundo até 2019	22
Gráfico 2 – Relação Consumo x Produção de 192,06 kWp x Produção de 71	•
	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Irradiação Solar no plano inclinado na Latitude 9,001°	42
Tabela 2 - Dados de consumo e custos do hospital com energia elétrica no períod	ok
de corte	42
Tabela 3 - Resumo das informações técnicas do Sistema I	50
Tabela 4 - Resumo das informações técnicas do Sistema II	51
Tabela 5 - Estimativa de Custos do Sistema I	51
Tabela 6 - Estimativa de Custos do Sistema II	52
Tabela 7 - Relação entre o consumo e a geração do sistema I a cada mês	53
Tabela 8 - Relação entre o consumo e a geração do sistema II a cada mês	54
Tabela 9 - Relação financeira mensal entre o consumo e a geração do sistema I .	54
Tabela 10 - Relação financeira mensal entre o consumo e a geração do sistema l	55
Tabela 11 - Dados utilizados para encontrar os valores presentes do projeto	57
Tabela 12 - Tabela de Valor Presente e Saldo anuais do projeto	59
Tabela 13 - Dados utilizados para encontrar os valores presentes do projeto	62
Tabela 14 - Tabela de Valor Presente e Saldo anuais do projeto	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.a. Ao ano

ABRACE Associação dos Grande Consumidores de Energia e de

Consumidores Livres

ABSOLAR Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

ACEEE American Council for an Energy-Efficient Economy

ANEEL Agencia Nacional de Energia Elétrica

AR Autoconsumo Remoto

BEN Balanço Energético Nacional

BNDES Banco Nacional do Desenvolvimento

CA Corrente Alternada
CC Corrente Contínua

COFINS Contribuição para o Financiamento de Seguridade Social

CONFAZ Conselho Nacional de Política Fazendária

CRESESB Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio Brito

EPE Empresa de Pesquisa Energética

FV Fotovoltaico

GC Geração Compartilhada

GD Geração Distribuída

HOMUPE Hospital Municipal de Petrolândia

ICMS Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IEA International Energy Agency

INMETRO Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IRPJ Imposto de Renda Pessoa Jurídica

LER Leilão de Energia de Reserva

MME Ministério de Minas e Energia

MPPT Maximum Power Point Tracking

ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

PEE Programa de Eficiência Energética

PIS Programa de Integração Social

ProGD Programa de Geração Distribuída

REIDI Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da

Infraestrutura

RN Resolução Normativa

SUDAM Superintendência do Desenvolvimento da Amazonia

SUDENE Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

TIR Taxa Interna de Retorno

TMA Taxa Mínima de Atratividade

TUSD Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

TUST Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão

UC Unidade Consumidora

VPL Valor Presente Liquido

LISTA DE SÍMBOLOS

A Ampére

Anec Área Necessária para Instalação dos Módulos

a-Si Sílico Amorfo

Cd Custo de Disponibilidade

CdTe Telureto de Cádmio

CIGS Cobre-Índio-Gálio-Selênio

CMm Consumo Médio Mensal

CO₂ Dióxido de Carbono

Ec Energia de Compensação

Fb Fator de Borda
FC Fluxo de Caixa

GaAs Arsenato de Gálio

HSP Horas de Sol Pleno

i Taxa de Juros

Icc Máxima Corrente de Curto-Circuito do Inversor

Idc Máxima Corrente de Entrada do Inversor

Imp Corrente de Operação Ideal do Módulo

Isc Corrente de Curto-Circuito do Módulo

kW Kilowatt

kWh Kilowatt-Hora

kWh/m².dia Kilowatt-Hora por Metro Quadrado por Dia

kWp Kilowatt-Pico

*m*² Metro Quadrado

mm Milímetro*MW* Megawatt

n Período no Projeto

NmEstMod Número Estimado de Módulos

NmMdInv Número de Módulos por Inversor

NmModString Número de Módulos por String

P_{mod} Potência Nominal do Módulo

PN Junção entre Semicondutor P e Semicondutor N

PotSFV Potência Efetiva do Sistema Fotovoltaico

PotString Potência da String

*P*_{peak} Potência-Pico do Sistema em Condições Ideais

R\$ Real

R\$/kWh Custo da Tarifa de Energia Elétrica

S Saldo
Si Silício

Smod Área do Módulo

V Volt

Vdc_{máx} Máxima Tensão de Entrada do Inversor

Vdc_{min} Mínima Tensão de Entrada do Inversor

Vmax,op Tensão Máxima da Faixa de Operação do Inversor

Vmp Tensão de Operação Ideal do Módulo

Voc Tensão de Circuito Aberto do Módulo

VP Valor Presente

W Watt

Wp Watt-Pico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Objetivos	19
1.1.1	Objetivo geral	19
1.1.2	Objetivos específicos	19
1.2	Estrutura do Trabalho	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	Matriz Energética Mundial e Fontes Renováveis de Energia	21
2.1.1	Matriz Energética Brasileira	24
2.2	Energia Solar	25
2.3	Energia Solar Fotovoltaica	26
2.3.1	Tecnologias Disponíveis	28
2.3.2	Sistemas Fotovoltaicos	31
2.3.3	Modalidades de Compensação de Créditos	34
2.3.4	Políticas de Incentivo no Brasil	34
3.	METODOLOGIA	37
3.1	Procedimentos Metodológicos	37
3.1.1.	Pesquisa Bibliográfica Erro! Indicador não d	lefinido.
3.1.1. 3.1.2	Pesquisa Bibliográfica Erro! Indicador não d Coleta de Dados	
		37
3.1.2	Coleta de Dados	37
3.1.2 3.2	Coleta de Dados Viabilidade Técnica e Análise Financeira	37 3 7 38
3.1.2 3.2 3.2.1 3.2.2	Coleta de Dados Viabilidade Técnica e Análise Financeira Critérios para Validação Técnica	373838
3.1.2 3.2 3.2.1 3.2.2 3.2.2.1	Coleta de Dados Viabilidade Técnica e Análise Financeira Critérios para Validação Técnica Analise Financeira e Indicadores de Viabilidade Financeira	373838
3.1.2 3.2 3.2.1 3.2.2 3.2.2.1 3.2.2.2	Coleta de Dados	37383838
3.1.2 3.2 3.2.1 3.2.2 3.2.2.1 3.2.2.2 3.2.2.3	Coleta de Dados	3738383939
3.1.2 3.2 3.2.1 3.2.2 3.2.2.1 3.2.2.2 3.2.2.3	Coleta de Dados	373838393939
3.1.2 3.2 3.2.1 3.2.2 3.2.2.1 3.2.2.2 3.2.2.3 3.2.2.4	Coleta de Dados	373838393939
3.1.2 3.2.1 3.2.2 3.2.2.1 3.2.2.2 3.2.2.3 3.2.2.4 4.	Coleta de Dados Viabilidade Técnica e Análise Financeira Critérios para Validação Técnica Analise Financeira e Indicadores de Viabilidade Financeira Taxa Mínima de Atratividade (TMA) Valor Presente Líquido (VPL) Taxa Interna de Retorno (TIR) Payback RESULTADOS E DISCUSSÕES O Projeto Localização do Hospital	37383839394040
3.1.2 3.2.1 3.2.2 3.2.2.1 3.2.2.2 3.2.2.3 3.2.2.4 4. 4.1	Coleta de Dados	37383839394040
3.1.2 3.2.1 3.2.2 3.2.2.1 3.2.2.2 3.2.2.3 3.2.2.4 4. 4.1 4.1.1	Coleta de Dados Viabilidade Técnica e Análise Financeira Critérios para Validação Técnica Analise Financeira e Indicadores de Viabilidade Financeira Taxa Mínima de Atratividade (TMA) Valor Presente Líquido (VPL) Taxa Interna de Retorno (TIR) Payback RESULTADOS E DISCUSSÕES O Projeto Localização do Hospital Caracterização do Prédio Área Útil para Instalação dos Módulos	3738383939404041
3.1.2 3.2.1 3.2.2.1 3.2.2.2 3.2.2.3 3.2.2.4 4. 4.1 4.1.1 4.1.2	Coleta de Dados Viabilidade Técnica e Análise Financeira Critérios para Validação Técnica Analise Financeira e Indicadores de Viabilidade Financeira Taxa Mínima de Atratividade (TMA) Valor Presente Líquido (VPL) Taxa Interna de Retorno (TIR) Payback RESULTADOS E DISCUSSÕES O Projeto Localização do Hospital Caracterização do Prédio	3738383939404041

4.2	Dimensionamento dos Sistemas	43
4.2.1	Sistema FV para Autossuficiência Energética do Hospital (SISTEMA I)	43
4.2.2	Sistema de Microgeração com 72 kWp	49
4.3	Estimativa de Custos do Sistema	50
4.4	Relação Geração X Consumo de Energia	52
4.5	Análise de Viabilidade Técnica	55
4.6	Análise de Viabilidade Financeira	56
4.6.1	Análise Financeira do Sistema	57
4.6.2	Análise Financeira do Sistema II	61
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
REFER	ÊNCIAS	66
APÊND	NCE A – Arranjo de conexões dos sistemas	70
APÊND	NCE B – Tabela usada pros cálculos no excel	73
	A – Fotos da planta de cobertura do prédio cedidas pela diretoria do hos	•
ANEXC	B – Datasheets dos modelos de módulo e inversor	79
	C – Trecho da proposta comercial da empresa consultada para a execuç	

1 INTRODUÇÃO

No ano de 2019, foram registrados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), quatro recordes consecutivos de demanda por energia elétrica no país, o último deles chegou a 90.525 MW. Antes disso, os recordes eram de 2014 quando a demanda máxima atingiu 85.708 MW. A principal causa desses picos de demanda se dá pelas altas temperaturas registradas no país durante esse período (ALVES, 2019, p.52).

Até então, no ranking divulgado em 2018 pelo Conselho Americano para uma Economia Eficiente em Energia (ACEEE), o Brasil já ocupava a vigésima posição entre os 25 países com maior consumo de energia no mundo, como mostra a figura 01, e segundo Santos (2009), a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) divulgou que o consumo de energia elétrica do setor público no Brasil correspondia a 8,5% de toda a energia consumida no país em 2007.



Figura 1 - Ranking dos 25 países com maior consumo de energia no mundo

Fonte: ACEEE (2018).

Isso pode ser muito preocupante quando se atenta a alguns estudos publicados recentemente. Um desses estudos foi publicado com base em dados da Associação dos Grandes Consumidores de Energia e de Consumidores Livres (ABRACE), mostrando que o Brasil tem hoje a segunda posição entre as contas de luz mais caras

do mundo. Tal fato consequência do aumento de 47% em seu valor nos últimos 5 anos. (VAZ, 2022).

Ferrari (2018) afirma que o consumo de energia elétrica das instituições e dos órgãos públicos, ainda em 2017, foi de 1,224 bilhão de kWh que seriam suficientes para atender toda a demanda de casas e apartamentos do Distrito Federal ou 637,5 mil residências no país. O mesmo ainda acrescenta que naquele ano foram gastos R\$ 2,4 bilhões com energia nos prédios públicos.

Com base nos dados expostos, questiona-se os índices de eficiência energética no Brasil e verifica-se como a utilização de energia solar fotovoltaica, pode ser aplicada afim de obter resultados positivos para a redução dos custos de energia elétrica nas instituições públicas.

Em estudo realizado em um hospital público no município de Curitiba-PR por Gavioli *et al.* (2021), concluiu-se que, para as condições impostas, existia viabilidade financeira para a implantação dos sistemas fotovoltaicos, ainda que se fizesse necessário um investimento significativo no início. Contudo, o estudo provou a rentabilidade do projeto.

A região nordeste se destaca no país em se tratando de incidência de radiação solar e fontes alternativas de energia. Além do impacto da região para a boa colocação do Brasil no ranking de geração de energia de fonte eólica, os investimentos em energia solar fotovoltaica crescem progressivamente de modo que, segundo informado no blog da empresa especializada, Bluesol (2019), os projetos instalados na região nordeste somaram 1,2 Gigawatts (GW) de potência, o equivalente a mais de 54,5% dos 2,2 GW de geração centralizada totais do país até então.

Desde este período, principalmente após o início da pandemia, foram necessárias diversas medidas de contingenciamento e redução de gastos para equilibro dos estados. Segundo Santana (2022) em publicação no Diário de Pernambuco, no estado foram suspensas despesas públicas com materiais de consumo, energia elétrica e consumo de água, gastos com combustíveis, entre outros.

Com base nos dados expostos, questiona-se os índices de eficiência energética no Brasil e verifica-se como a utilização de energia solar fotovoltaica, pode ser aplicada afim de obter resultados positivos para a redução dos custos de energia elétrica nas instituições públicas.

Como objeto de estudo foi escolhido o Hospital Municipal Dr. Francisco Simões de Lima (HOMUPE), em Petrolândia, instituição pública no estado de Pernambuco.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Utilizar métodos de dimensionamento, critérios técnicos e indicadores financeiros para verificar a viabilidade técnica e financeira da implantação de geração de energia solar fotovoltaica no hospital municipal de Petrolândia.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Realizar uma revisão bibliográfica de estudos relacionados à geração de energia solar fotovoltaica, que permita conhecer e entender os principais conceitos aplicados e seu devido contexto.
- b) Dimensionar dois sistemas de geração, com diferentes finalidades, e verificar a viabilidade de sua implantação.
- c) Analisar o desempenho dos sistemas e, ao comparar à demanda energética da instituição, entender o impacto que os mesmos podem causar.
- d) Utilizar de indicadores financeiros para verificar se a realização dos projetos é viável financeira e economicamente, dada a finalidade de reduzir os gastos com energia elétrica na instituição.

1.2 Estrutura do Trabalho

O tema foi dividido em etapas a serem executadas durante a pesquisa. Com isso, no primeiro capítulo realiza-se uma pesquisa bibliográfica e coleta-se informações que permitam conhecer e entender o contexto das matrizes energéticas mundial e brasileira e as fontes renováveis de energia.

No segundo capítulo, a pesquisa bibliográfica parte da importância de obter um conhecimento introdutório a respeito de energia solar, em seu contexto histórico, sua relevância e potencial e brevemente sua chegada ao Brasil.

No terceiro capítulo, aprofunda-se o conhecimento de energia solar fotovoltaica, de modo a conhecer as tecnologias disponíveis, os sistemas fotovoltaicos, os sistemas de compensação energética e as políticas nacionais de incentivo à geração fotovoltaica de energia no Brasil.

No último capítulo, apresenta-se os critérios técnicos para a instalação do sistema de geração e o conceito de análise financeira, com foco para os indicadores de viabilidade financeira.

Previamente, é possível partir da hipótese de que o clima favorável da região, as características arquitetônicas do prédio e o alto consumo de energia do hospital tendem a favorecer a confirmação da viabilidade para a implementação da tecnologia. Como é costume ver em outras aplicações, os projetos de geração fotovoltaica costumam apresentar bons índices de economia e lucratividade, logo as duas situações analisadas devem apresentar resultado satisfatório.

A metodologia para este estudo será esteada pelos conceitos de pesquisa quantitativa, exploratória e estudo de caso.

Espera-se que, ao fim, todos os objetivos sejam atendidos através da confirmação dos critérios utilizados para a validação da hipótese inicial, afirmando viável a instalação de qualquer um dos sistemas fotovoltaicos e demonstrando a utilidade da tecnologia para a redução dos custos com energia elétrica no hospital municipal de Petrolândia-PE. Exemplarmente, em outros prédios e instituições públicas, um estudo semelhante deve vir a confirmar viável a implantação da tecnologia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Matriz Energética Mundial e Fontes Renováveis de Energia

Há algum tempo, vê-se cada vez mais em pauta as discussões a respeito de fontes alternativas de energia, partindo da busca por uma composição mais limpa e renovável da matriz energética mundial, que se dá pelo conjunto de fontes e recursos energéticos utilizados para suprir a demanda energética populacional.

Atualmente, a vida do homem tem uma elevada dependência de energia e os governos dos países têm como uma de suas principais preocupações o adequado fornecimento de energia para o desenvolvimento da sua nação (SANTOS, 2009).

Em concordância, Villalva e Gazoli (2012) acrescentam que essa dependência se dá pela necessidade de utilização de energia nos meios de transporte, em sistemas de aquecimento e em outras aplicações, mas concentra-se principalmente, na geração de energia elétrica, o que ocasiona um crescimento acelerado da demanda por essa energia em todo o mundo.

Ao citar REIS et al. (2005), Santos (2009) define as energias não renováveis como aquelas passiveis de esgotamento por serem utilizadas com velocidade bem maior que o período necessário para a sua acumulação. Diante disso, podemos citar como exemplos de fontes finitas os derivados de petróleo, carvão mineral, gás natural e nuclear. Não bastando a sua finidade, essas fontes são os maiores emissores de gases poluentes que impactam diretamente, de forma negativa, o meio ambiente. Em contraponto, Villalva e Gazoli (2012) definem como fontes renováveis aquelas consideradas inesgotáveis para os padrões humanos de utilização. Alguns exemplos são as energias solar, hidrelétrica, eólica, oceânica, geotérmica e da biomassa.

A matriz energética mundial é composta, em sua maior parte, por fontes finitas de energia. Como mostra o gráfico 01, o fornecimento total de energia no mundo segundo a Internacional Energy Agency (IEA), aponta para o petróleo e seus derivados como a fonte de maior participação na geração de energia, seguidos pelo carvão mineral e o gás natural. Essas três fontes são responsáveis por, respectivamente, 31%, 27% e 23% de toda a energia gerada no mundo até 2019, o que resulta em 81% de toda a matriz energética mundial.

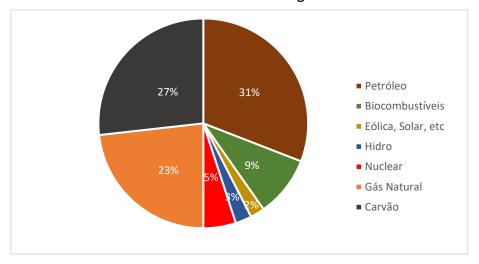


Gráfico 1 - Fornecimento total de Energia no Mundo até 2019

Fonte: IEA (2022).

Por outro lado, fontes renováveis de energia como a hídrica, a solar, a eólica, a da biomassa, entre outras, representam apenas 14% desse total, o que indica a necessidade de utilizar mais essas fontes e diminuir a geração de energia por fontes finitas e a emissão de poluentes em favor do equilíbrio energético e ambiental. Com isso, é essencial que se conheça um pouco sobre as fontes renováveis de energia.

O princípio de funcionamento de uma usina hidrelétrica é dado pelo escoamento da água represada de um rio, onde a energia potencial desse volume é transformada em energia cinética durante o processo e seu movimento faz girar as pás de uma turbina que, por sua vez, aciona um gerador elétrico. (Villalva e Gazoli, 2012). Dado o processo do ciclo hidrológico, a água tende a se renovar, sendo considerada uma fonte infinita. Além disso, a energia hidrelétrica é uma fonte isenta dos problemas com emissão de poluentes por combustão.

Porém, a geração hidrelétrica também gera seus impactos ambientais. Segundo Magalhães (1978), a atividade de construção de barragens e usinas e a criação dos grandes reservatórios, interferem diretamente no sistema ecológico, e estudos devem ser realizados afim de avaliar essa interferência e desenvolver e valorizar modificações benéficas. Logo, deve-se haver um grande período de estudos preliminares, em função de tomar as melhores decisões e extrair, ao máximo, o potencial dessa fonte, minimizando as alterações e impactos negativos gerados pelo represamento e a construção de estruturas hidráulicas.

O calor proveniente do sol também pode ser utilizado como fonte na geração

de energia elétrica, tanto pelo processo térmico onde capta-se o calor do sol afim de aquecer um fluido, como no processo fotovoltaico onde a luz solar passa por uma conversão direta em energia elétrica. (Villalva e Gazoli, 2012).

Ao citar Verma, Midtgard e Sartre (2011), Dupont, Grassi e Romitti (2015) reafirmam, entre as fontes renováveis, a energia solar fotovoltaica como uma das mais abundantes em toda a superfície terrestre e uma inesgotável fonte na escala humana. Logo, torna-se uma das mais promissoras para a composição de uma nova matriz energética mundial.

A energia eólica é caracterizada pela conversão da energia cinética dos ventos em energia mecânica e vem sendo utilizada pela humanidade há mais de 3000 anos. Os moinhos de vento utilizados para moagem de grãos e bombeamento de água em atividades agrícolas foram as primeiras aplicações da energia eólica. (MARTINS; GUARNIERI; PEREIRA, 2008). Ao ser conectada em um sistema, com turbinas e geradores elétricos, a energia cinética dos ventos também configura uma fonte renovável de geração de energia elétrica.

Também é possível utilizar a energia das marés através de represamento de água como nas hidrelétricas, onde o movimento da água é usado para acionar as pás de uma turbina acoplada a um gerador elétrico. Outra aplicação é o sistema de boias flutuantes que capturam a energia cinética das ondas e acionam um mecanismo capaz de produzir eletricidade. (Villalva e Gazoli, 2012). Levando em consideração que os oceanos compõem cerca de 70% da superfície terrestre, entende-se o seu vasto potencial energético.

A energia da biomassa é obtida a partir da queima de compostos orgânicos de origem vegetal ou animal. Os combustíveis fosseis são uma forma de biomassa não renovável. A biomassa renovável, por outro lado, é constituída de compostos orgânicos, sobretudo vegetais, que podem ser repostos pelo plantio e não se esgotam. (Villalva e Gazoli, 2012).

Outra fonte renovável que pode ser compreendida é a energia geotérmica. Para a produção de eletricidade nas usinas geotérmicas empregam-se tubulações subterrâneas de água com as quais é possível extrair o calor do subsolo e leva-lo até centrais geradoras, que utilizam turbinas a vapor para acionar geradores elétricos. (Villalva e Gazoli, 2012). Para Santos (2009), a vantagem desse tipo de energia em relação às outras renováveis está no reduzido impacto ambiental pela pequena área afetada, e principalmente por não ser dependente das condições climáticas.

Não é novidade que o potencial de desenvolvimento do Brasil passa pela capacidade de portar um sistema energético em condições de suportar toda a demanda energética necessária para a manutenção do progresso nacional. Assim, a matriz energética brasileira se torna evidente mundialmente, devido sua composição limpa e alternativa.

2.1.1 Matriz Energética Brasileira

A partir da Revolução Industrial, a competitividade econômica dos países e a qualidade de vida dos seus cidadãos são intensamente influenciadas pela energia, principalmente neste momento de crescentes preocupações ambientais. Diante deste cenário, se posicionar da melhor forma quanto ao acesso à recursos energéticos de baixo custo e baixo impacto ambiental, pode ser uma importante vantagem comparativa dentre as economias. (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007). Logo, podemos analisar a situação do Brasil e o seu comportamento com relação à geração de energia e os recursos de baixo impacto e entender que o momento requer atenção e pode gerar grandes oportunidades de crescimento.

A matriz energética brasileira tem grande destaque no mundo pelo seu percentual de fontes renováveis de energia. Segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN) de 2022, tendo por base o ano de 2021 conforme mostrado na figura 02, a oferta de energia interna no país tem predominância da fonte hídrica representando 56,8% do total ofertado, que apesar do baixo impacto ambiental e outros benefícios que representa, inspira cuidados ao observar as recentes crises hídricas.

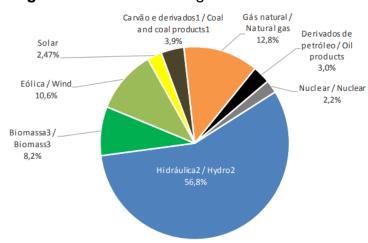


Figura 2 – Oferta de energia interna no Brasil

Fonte: BEN (2022).

Analisando os dados do gráfico, nota-se em maior parte, a participação de fontes renováveis para a composição da oferta energética. Juntas, as fontes hídrica, eólica, solar e da biomassa representam cerca de 78% de toda a energia ofertada. Vale ressaltar a tímida participação da energia solar neste montante, visto que, existe um grande potencial de utilização da energia proveniente da radiação solar para a geração de energia no Brasil, dada a sua proximidade do Equador e a consequente incidência de raios solares de forma direta durante todo o ano.

Algumas políticas de incentivo já têm sido postas em pratica em favor do maior aproveitamento do sol como fonte de energia no Brasil e esta pesquisa segue seu caminho aprofundando o conhecimento em energia solar, com ênfase na vertente fotovoltaica e suas tecnologias.

2.2 Energia Solar

O sol é a principal fonte de energia do nosso planeta. A superfície da Terra recebe anualmente uma quantidade de energia solar, na forma de luz e calor, suficiente para suprir milhares de vezes as necessidades mundiais durante o mesmo período. (Villalva e Gazoli, 2012). Logo, é inegável o potencial a ser explorado e os benefícios que a utilização dessa fonte pode trazer para um país ou região que devidamente a faz.

Com isso, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, através de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico. (ANEEL, 2002).

Apesar de ser uma temática ainda pouco explorada, não é de hoje a relação do homem com a utilização direta do calor e da luz fornecidos pelo sol.

Desde os tempos da arquitetura Greco-Romana até a produção em série de placas finas fotovoltaicas da atualidade há um hiato de tempo de dois milênios, que se faz acompanhar de forma indissociável de um princípio básico igual, de usar os raios solares para ir ao encontro das necessidades energéticas, com um pressuposto incontornável: esta fonte energética é inesgotável, não poluidora e acessível a quase toda a humanidade. (CARVALHO; CALVETE, 2010, P. 201).

O Brasil é privilegiado em radiação solar. A irradiação solar no Brasil está entre as mais altas do mundo, variando diariamente e tendo uma média com o valor máximo de 6,5 kWh/m².dia no norte do estado da Bahia, e a mais baixa de 4,25 kWh/m².dia em Santa Catarina (PEREIRA et al., 2006).

Em princípio no Brasil, o ramo da energia solar só passou a ter uma maior relevância e destaque a partir de 2012, quando a ANEEL publicou a Resolução Normativa n° 482 que permite a geração de energia própria por parte dos consumidores. Isso aconteceu no ano seguinte à instalação da primeira usina solar no Brasil, no estado do Ceará em 2011. Desde então, segundo divulgado pela Associação Brasileira de Energia Fotovoltaica (ABSOLAR), Nassa *et al.* (2021) afirmaram que as fontes de energia acumulam mais de R\$ 78,5 bilhões em investimentos acumulados e 450 mil empregos criados, evitando também a emissão de 20,8 milhões de toneladas de CO₂ na geração de eletricidade.

Esses resultados foram obtidos através da utilização de energia solar térmica e energia solar fotovoltaica. Segundo Pinto (2022) foram produzidos até 2021, 1,81 milhão de metros quadrados de coletores solares térmicos, representando um acréscimo de 28% em relação a 2020. O mesmo estima que em 2022, haja ainda o aumento de 30% dessa produção.

A utilização de energia solar térmica é feita através da coleta de do calor da radiação e sua transferência para meios líquidos ou gasosos. As aplicações mais comuns são em aquecimento de água para chuveiros em unidades residenciais, aquecimento de água em industrias e para refrigeração.

De forma conjunta, a energia solar fotovoltaica tem sido o grande destaque para a geração de energia elétrica de forma sustentável no mundo, em especial no Brasil. O investimento no setor é atraente e se desenvolve de forma exponencial.

2.3 Energia Solar Fotovoltaica

Como já mencionado, a utilização da energia solar parte principalmente dos efeitos termoelétrico e fotovoltaico. O segundo deles, é o fenômeno da transformação da energia da iluminação em energia elétrica, observado pela primeira vez em 1839 por Edmond Becquerel ao verificar que placas metálicas submersas em uma certa solução ácida, podia gerar corrente elétrica quando em contato com a luz, afirma Santos (2017). O autor ainda acrescenta que este estudo foi base para outras

descobertas na área e que em 1954, as primeiras células fotovoltaicas surgiram nos Estados Unidos, feitas em silício cristalino.

Segundo Nuayed (2018), a geração fotovoltaica é uma aplicação do efeito fotovoltaico decorrente das propriedades dos materiais semicondutores ao serem submetidos à energia da radiação solar. O mesmo afirma que ao acontecer a interação entre os fótons na forma de partículas e as partículas atômicas do semicondutor, ocorre a liberação de uma população de elétrons livres no material.

Uma junção PN, ligação de dois matérias semicondutores do tipo P e do tipo N, sensível à luz, permite que os elétrons livres sejam coletados de forma sistemática, transformando o arranjo PN em fonte de força eletromotriz. Em termos práticos, são formadas pastilhas finas de junções PN para compor placas que, ligadas em série, estabelecem uma diferença de potencial com tensões variáveis de 12V, 24V, etc. (NUAYED, 2018). Essas pastilhas são também conhecidas como células fotovoltaicas e são comercializadas compondo os módulos e painéis solares que conhecemos.

Villalva e Gazoli (2012), definem a estrutura de uma célula fotovoltaica como composta por duas camadas de material semicondutor P e N, uma grade de coletores metálicos superior e uma base metálica inferior, como ilustrado na figura.

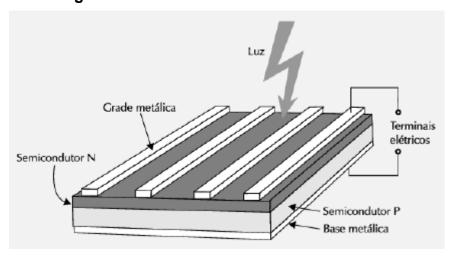


Figura 3 – Estrutura de uma célula fotovoltaica

Fonte: Villava e Gazoli (2012).

Assim, a grade e a base metálica inferior são os terminais elétricos que coletam a corrente elétrica produzida pela ação da luz. A base inferior é uma película de alumínio ou prata. A parte superior da célula, que recebe a luz, precisa ser translucida,

portanto os contatos elétricos são construídos na forma de uma fina grade metálica impressa na célula. (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

2.3.1 Tecnologias Disponíveis

Com o passar do tempo e a aplicação nos estudos, foram desenvolvidas novas tecnologias com relação ao material utilizado na fabricação das células, podendo-se destacar as células cristalinas e os filmes finos.

As células cristalinas são células solares fabricadas a partir de finas fatias (wafers) de um semicondutor, como o silício (Si) ou arsenato de Gálio (GaAs), podendo ser monocristalinos ou policristalinos. As células monocristalinas de silício alcançam eficiência de até 25%, enquanto as policristalinas chegam a 15%. Já as células baseadas em arsenato de gás hélio apresentam eficiência em torno de 30%, o que as torna muito mais caras no mercado (CARVALHO, 2014). Dado isso, as células de silício são bem mais populares no comercio. Villalva e Gazoli, (2012), comentam que cerca de 95% das células fabricadas em todo o mundo eram de silício até então, em consequência da sua abundancia e do baixo custo. Na figura 4 estão ilustrações de células do tipo cristalinas.

Figura 4 – Células do tipo cristalinas



Fonte: NeoSolar (2022).

(b) Policristalina.



A segunda geração de células ou filmes finos (figura 5), são células fabricadas a partir do crescimento de filmes finos de materiais semicondutores. Sua principal vantagem é seu custo de fabricação, que não depende de técnicas sofisticadas de produção de materiais ultrapuros, além do baixo consumo de material semicondutor. Contudo, a desvantagem em relação às células cristalinas está na eficiência bem menor, em torno de 10%. (CARVALHO, 2014). Os filmes finos também apresentam vida útil mais baixa e o tipo de célula mais comum é a de silício amorfo (a-Si).

Apesar da menor eficiência, os filmes finos apresentam algumas vantagens com relação às células cristalinas. Villalva e Gazoli (2012), destacam a condição de melhor aproveitamento da luz solar para baixos níveis de radiação e radiação do tipo difusa, além da sua maior adequação a locais com temperatura elevada, devido à menor diminuição na produção de energia ao serem expostos a aumentos de temperatura.



Figura 5 - Filme fino de silício amorfo

Fonte: SunEnergia (2018).

Além das tecnologias citadas, é possível ver também o desenvolvimento de células híbridas e células de filme fino de silício cristalino (figura 6), unindo as vantagens das diferentes tecnologias primárias encontradas no mercado. Células de telureto de Cádmio (CdTe) e cobre-índio-gálio-selênio (CIGS) também são utilizados para a produção das células e dos filmes, porém empecilhos ainda existem para sua produção, dadas as condições de toxicidade e raridade de alguns desses materiais. (VILLALVA; GAZOLI, 2012).



Figura 6 - Filme fino de silício cristalino

Fonte: BOSCH (2018).

Como se sabe, as células fotovoltaicas são comercializadas em grupos, compondo os módulos ou painéis solares. A figura 7 ilustra a estrutura dos módulos comportando as células.

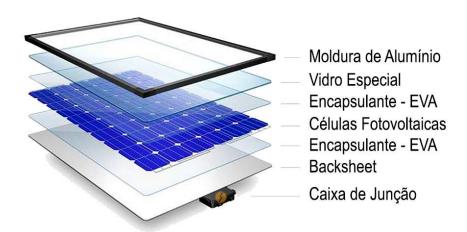


Figura 7 – Estrutura de um módulo fotovoltaico

Fonte: PortalSolar (2022).

As células são envolvidas em duas camadas de um material plástico que as protege dos possíveis danos causados pelos raios ultravioletas (UV). Na parte superior da célula, um vibro fabricado especialmente para essa função, sobrepõe o plástico protetor e está sob a moldura de alumínio que envolve o módulo. Abaixo das células, o backsheet é um filme plástico que protege as células e age como isolante elétrico. A caixa de junção comporta as conexões elétricas, em série, das células fotovoltaicas.

2.3.2 Sistemas Fotovoltaicos

Podemos definir um sistema fotovoltaico como o conjunto de equipamentos eletroeletrônicos que possibilitam a conversão da energia luminosa em energia elétrica, nos parâmetros de tensão e frequência nas condições da concessionaria. (IBANEZ, 2022). Esses sistemas são compostos por painel solar, o inversor, a Stringbox e outros equipamentos como cabos e conectores elétricos e estruturas de fixação para os painéis.

O painel solar é o conjunto de módulos fotovoltaicos do sistema, enquanto o inversor é responsável por converter a eletricidade de tensão e corrente continuas (CC) em tensão e corrente alternadas (CA) e a Stringbox (caixa elétrica de proteção) é conectada entre os módulos e o inversor com a função de proteger o lado de corrente continua do sistema.

A configuração e os elementos do sistema podem variar de acordo com o tipo de sistema, que são três. Os sistemas *on-grid* ou conectados à rede são aqueles onde existe conexão com a rede elétrica da concessionária. Diferente disso, os sistemas *off-grid* ou autônomos funcionam sem conexão à rede da concessionaria, podendo em alguns casos serem acrescidos da utilização de baterias para armazenamento e apresentando um controlador de carga responsável pela conexão entre os painéis e a bateria. Unindo os dois conceitos, há também o sistema híbrido. Esse tipo funciona ligado à rede elétrica da concessionaria e com o armazenamento em baterias. (VILLAVA; GAZOLI, 2012).

Os sistemas autônomos (*off-grid*), costumam ser empregados em locais não atendidos por uma rede elétrica, normalmente usados em zonas rurais, campings, ilhas ou praias. (VILLAVA; GAZOLI, 2012). Mais precisamente, os sistemas autônomos são compostos de um conjunto de placas fotovoltaicas, um controlador de carga, uma bateria e um inversor. Abaixo, ilustra-se o arranjo dos componentes do sistema em 12 V na figura 8.

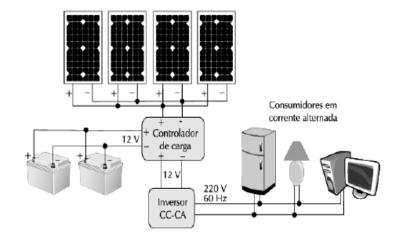


Figura 8 – Componentes de um sistema autônomo (off-grid)

Fonte: Villalva e Gazoli (2012).

Então, o controlador de carga fica no centro do sistema e recebe conexão das placas fotovoltaicas e direciona para as baterias e para o inversor que transforma a tensão e a corrente, fornecendo energia elétrica passível de consumo para a unidade consumidora (UC).

Os sistemas conectados à rede elétrica (on-grid) podem ser centralizados,

constituindo usinas de energia elétrica ou podem ser micro e minissistemas descentralizados de geração distribuída instalados em qualquer tipo de consumidor. (VILLALVA; GAZOLI, 2012). Segundo regulamentado pela (ANEEL) na RN 687, revisão da RN 482, esses sistemas podem ser classificados quanto ao seu tamanho:

- Microgeração distribuída: Central geradora com Potência menor ou igual à 75 kW:
- Minigeração distribuída: Central geradora com potência superior a 75 kW e menor ou igual à 5 MW;

Acima disso, são consideradas usinas de eletricidade em diferentes portes.

Os sistemas conectados à rede são normalmente compostos por painéis solares conectados ao inversor após passar por um quadro de proteção de corrente contínua. Após o inversor, um novo quadro de proteção, desta vez, de corrente alternada é responsável por encaminhar a geração à um medidor que chega à rede pública da concessionaria e ao quadro geral que distribui para o consumo da unidade. A figura 9 demonstra a estrutura organizacional do sistema.

Ponto de acoplamento Rede pública com a rede elétrica de eletricidade Quadro geral Instalação elétrica da residência Fase Neutro/fase Medidor Quadro de proteção CA do sistema fotovoltaico Quadro de proteção CC Conjunto de módulos fotovoltaicos do sistema fotovoltaico Inversor para conexão à rede elétrica

Figura 9 – Componentes de um sistema conectado à rede (on-grid)

Fonte: Villalva e Gazoli (2012).

2.3.3 Modalidades de Compensação de Créditos

A Agencia Nacional de Energia Elétrica, através RN 687/2015, cita as três modalidades principais de compensação de créditos em energia elétrica regulamentadas, sendo elas a geração distribuída, a geração compartilhada e o autoconsumo remoto.

Para a Geração Distribuída (GD), a ANEEL estabelece um sistema de compensação de energia elétrica onde um sistema no qual a energia ativa injetada por uma unidade consumidora com micro ou minigeração é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa. Ou seja, a energia gerada que excede o consumo da unidade consumidora, é injetada na rede da concessionária e creditada para ser devolvida posteriormente para a UC.

A Geração Compartilhada (GC) consiste em um grupo de consumidores de micro ou minigeração que, dentro de uma área de permissão por meio de consorcio ou cooperativa, compartilham entre si a energia gerada e o excedente compensado.

E o Autoconsumo Remoto (AR) comporta os casos onde, unidades consumidoras de mesma titularidade Pessoa Física ou Pessoa Jurídica, recebem a compensação pela geração excedente. É o caso onde uma pessoa física, por exemplo, conta com microgeração em sua casa e opta por compensar o excedente gerado em uma outra casa registrada sob sua titularidade junto à concessionaria de energia elétrica.

2.3.4 Políticas de Incentivo no Brasil

Com a necessidade de atender às demandas de comunidades afastadas que não tinham acesso à energia elétrica e iluminação pelos meios mais comuns, surgem alguns programas do Governo para incentivar a utilização de fontes alternativas de energia para preencher essa lacuna, em foco, a energia solar fotovoltaica.

A publicação das Resoluções Normativas 481/2012 e 482/2012 por parte da ANEEL foi um passo importante no incentivo à geração fotovoltaica, segundo Pereira (2019). A RN 481 concedeu aos projetos com energias renováveis com potencial gerador entre 30 e 300 MW, descontos de 80% nas Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão e Distribuição (TUST e TUSD) nos primeiros 10 anos de operação, para

aqueles projetos iniciados até 2017. Após isso, os descontos seriam de 50%. (PEREIRA, 2019).

Como já citado, A ANEEL também lançou um sistema de compensação de energia elétrica para os projetos de micro e minigeração. Isso ocorreu juntamente com a flexibilização burocrática para a realização dos projetos e a redução do período de aprovação dos mesmos na resolução 482/2012, posteriormente revisada e publicada como RN 687/2015.

Pereira (2019) também ressalta a realização dos convênios (101/97 e 16/2015) realizados pelo Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ), que isentaram o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) para as operações envolvendo equipamentos utilizados na geração de energia elétrica (solar e eólica) e isentando os Estados a cobrarem o ICMS sobre a energia injetada na rede.

Com o objetivo de gerar avanços na geração distribuída, estabelecendo linhas de financiamento adequadas para a aquisição de sistemas fotovoltaicos, o Ministério de Minas e Energia (MME) lançou o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD). Bancos públicos como o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Banco do Brasil, Banco da Amazônia e Caixa Econômica Federal, além das instituições privadas como Bradesco, Santander, BV Financeira e Sicoob possuem créditos para o setor. As taxas variam entre 0,9% e 1,3% ao mês. (PEREIRA, 2019).

Além disso, o Brasil também adotou a estratégia de leilões para promoção e incentivo de energia renováveis. Segundo Pereira, (2019), o primeiro grande passo do Brasil nesse quesito foi dado no 6º Leilão de Energia de Reserva (LER/2014), quando foi contratado 890 MW em 31 projetos de energia solar fotovoltaica.

O Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI), é um incentivo fiscal federal baseado na Lei Federal n.º 11.488/07, Decreto Federal n.º 6.144/07, Instrução Normativa n.º 1.911/19 e Portaria MME n.º 319/18. O incentivo prevê, para projetos de infraestrutura, incluindo projetos de geração centralizada solar FV, a isenção total da contribuição para o Programa de Integração Social (PIS) e a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) sobre bens destinados ao ativo fixo e prestação de serviço por pessoa jurídica no país. (RUIZ et al., 2021).

Outro incentivo fiscal federal é baseado na Lei Federal n.º 13.799/19, que alterou a Medida Provisória n.º 2.199/14. Este benefício prevê redução de 75% da

alíquota do Imposto de Renda Pessoa Jurídica (IRPJ) por um período de 10 anos para empresas que fazem investimentos produtivos considerados prioritários para o desenvolvimento regional na região da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e Superintendência do Desenvolvimento da Amazonia (SUDAM). Os projetos de geração de energia centralizada solar FV são elegíveis para esse incentivo. (RUIZ et al., 2021).

Essas iniciativas são algumas entre tantas que podemos citar. Em especial, este trabalho lida com um estudo de caso em um hospital no estado de Pernambuco. Recentemente, a companhia de distribuição elétrica do estado, Neoenergia Pernambuco, realizou um projeto de nome "Bônus Solar" que concedeu abatimento de 50% no preço de painéis fotovoltaicos para aquisição. O projeto foi viabilizado pelo Programa de Eficiência Energética (PEE) e regulado pela Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). (NEOENERGIAPERNAMBUCO, 2019).

Entende-se assim a importância dada e os mecanismos facilitadores criados pelo governo federal e pelos estados, afim de incentivar a realização de projetos de energia com fontes alternativas, em especial, a energia solar e eólica.

3. METODOLOGIA

Lakatos e Marconi (2012) definem a metodologia como o caminho a percorrer em uma pesquisa para que se torne possível alcançar os objetivos da pesquisa e o resultado desejado.

Segundo Gil (2007), as pesquisas exploratórias têm como principal objetivo desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, baseando-se na formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores e normalmente se enquadram nas condições de pesquisa bibliográfica ou estudo de caso. Comumente, estas pesquisam envolvem levantamento bibliográfico e documental, como no presente estudo, e apresentam menor rigidez de planejamento.

Com isso, o presente trabalho é uma pesquisa de propósito básico estratégico voltada para a exploração de conhecimentos a respeito do tema proposto. A pesquisa tem abordagem quantitativa onde foram realizados levantamentos bibliográfico e documental, estando garantida dentro dos conceitos de pesquisa exploratória, quantitativa e estudo de caso dentro do método hipotético-dedutivo.

3.1 Procedimentos Metodológicos

3.1.1 Coleta de Dados

Para realização do trabalho foram considerados os doze meses anteriores ao início da pesquisa. Inicialmente foi feita uma busca pelas coordenadas do local para estudo de radiação. Então foram colhidos juntamente à diretoria do Hospital Municipal de Petrolândia-PE e membros da gestão financeira da cidade, os registros de consumo e custo de energia elétrica na instituição no período estabelecido.

Em seguida, com o auxílio da plataforma do Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sergio Brito (CRESESB) e as coordenadas encontradas, verificou-se os índices de radiação solar no local, importantes para o dimensionamento dos sistemas de geração.

Após coletados os dados, foram utilizados métodos de dimensionamento para o projeto dos dois sistemas fotovoltaicos pretendidos.

3.2 Viabilidade Técnica e Análise Financeira

Neste subcapitulo, apresenta-se como e quais serão os critérios estabelecidos

previamente para análise e conclusão a respeito da viabilidade do investimento, além de permitir conhecer em termos financeiros, caso viável, os horizontes do projeto e fazer projeções e estudos com relação ao possível lucro gerado pela economia de custos durante a vida útil do sistema.

3.2.1 Critérios para Validação Técnica

Segundo Pinho e Galdino (2014), o projeto de um sistema fotovoltaico envolve tecnicamente, inclinação dos módulos, área útil, disponibilidade de recurso solar, a demanda a ser atendida, entre outros fatores. Com isso, para validação técnica do presente projeto, serão analisadas as condições de área útil na cobertura do prédio, índices locais de radiação solar e a demanda a ser atendida.

Inicialmente, faz-se a investigação das condições de radiação solar para a localização da instituição através de informações obtidas a partir das coordenadas de latitude e longitude do local. Em seguida, verifica-se os dados de consumo para conhecer a demanda a ser atendida. Conhecendo a demanda é possível definir a quantidade de módulos que serão necessários e saber se a área útil da cobertura pode comportar a instalação dos painéis. Quanto à sua orientação, os módulos devem ser instalados voltados ao Norte seguindo o mesmo plano de inclinação do telhado.

3.2.2 Analise Financeira e Indicadores de Viabilidade Financeira

Para todo investimento o qual se pretende realizar, é de grande importância fazer uma análise previa de todos os fatores que podem influenciar e indicar o sucesso ou fracasso de um projeto. Souza (2004) afirma que analisar a viabilidade econômico-financeira de um investimento é reunir argumentos e informações para construir os fluxos de caixa esperados em cada período da vida desse investimento e aplicar técnicas que permitam evidenciar se as futuras entradas de caixa compensam a realização do investimento.

Logo, em concordância, realiza-se a análise de viabilidade do projeto ao verificar o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Payback para o presente projeto de investimento.

3.2.2.1 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

Para Assaf Neto (2012), a taxa mínima de atratividade corresponde a uma porcentagem mínima a qual o investidor deve querer de retorno sobre o capital investido, considerando o custo de oportunidade, o risco do negócio e a liquidez. A TMA é a taxa de juros utilizada para levar em conta o valor do dinheiro no tempo.

3.2.2.2 Valor Presente Líquido (VPL)

Por considerar explicitamente o valor do dinheiro no tempo, o Valor Presente Líquido (VPL) é considerado uma técnica sofisticada para análise de investimentos. Esse tipo de técnica, de uma forma ou de outra, desconta os fluxos de caixa da empresa a uma taxa especificada. Essa taxa, frequentemente chamada de taxa de desconto, custo de oportunidade ou custo de capital (GITMAN, 2002, *apud* FONTOURA; RABUSKE; FRIEDRICH, 2018, p. 39).

3.2.2.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) representa a porcentagem de retorno que o investimento está gerando para a empresa em determinado período. Matematicamente, é a taxa que iguala os fluxos descontados do projeto ao investimento inicial. (MOITA, 2019).

3.2.2.4 Payback

O Payback consiste em um método que permite determinar o tempo necessário para o retorno do montante investido em um projeto. O método apresenta variações e o modelo utilizado neste trabalho vai ser o Payback Descontado. Para Assaf Neto (2016), o payback descontado é capaz de indicar o tempo necessário para o retorno do investimento inicial considerando o valor do dinheiro no tempo, utilizando uma taxa de desconto, para verificar a quantidade exata de períodos, em que um projeto recupera seu valor inicial investido. A taxa de desconto normalmente utilizada, é uma taxa mínima de atratividade (TMA), à qual é determinada pelo próprio investidor como parâmetro para remuneração de seu capital.

Vale ressaltar que a pesquisa visa somar à ciência, tecendo mais conhecimento do assunto por meio do teste de uma hipótese que pode vir a ser parte da solução do problema relacionado aos custos com energia elétrica em instituições públicas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

0 presente capítulo apresenta resultados obtidos os quanto dimensionamento, orçamento e análise de viabilidade técnica-financeira para a implantação de um sistema de geração solar no hospital objeto do estudo. Ressaltase que a intenção da pesquisa é avaliar a viabilidade do projeto, traçando como objetivo da implementação, a redução nos custos de energia elétrica da instituição e a demonstração de ações em incentivo ao uso de fontes renováveis para a geração de energia. Então resume-se o capítulo na elaboração de dois sistemas de geração, um que permita a autossuficiência energética, reduzindo à zero os custos com energia elétrica do hospital, e outro que limitado à microgeração, conceda economia e redução de custos de forma parcial.

4.1 O Projeto

4.1.1 Localização do Hospital

O hospital municipal Dr. Francisco Simões de Lima, na cidade de Petrolândia-PE, localiza-se na avenida Djalma Wanderley. Com a utilização do Google Earth, obteve-se as coordenadas geográficas do local do prédio, sendo Latitude 8.97654536 (S) e sua Longitude 38.21550845 (O). A figura 10 mostra a planta de situação do Hospital.



Figura 10 – Planta de situação do prédio

Fonte: Elaborado pelo Autor, Adaptação do Google Earth (2022).

4.1.2 Caracterização do Prédio

O hospital municipal de Petrolândia tem área total aproximada de 11.400 m² conforme mostrado em planta, sendo eles distribuídos em áreas de circulação, espaços abertos livres, garagens, setor de centrais técnicas e necrotério e blocos ordenados do A ao F comportando: Ambulatório e Centro Diagnostico, Emergência e Setor Materno/Infantil, Cozinha, Almoxarifado, Centro Cirúrgico, Setores de Internação, entre outros.

4.1.3 Área Útil para Instalação dos Módulos

A cobertura do prédio é composta por pequenas lajes impermeabilizadas de concreto e grandes áreas cobertas por telhas onduladas de fibrocimento. Para a instalação dos painéis, serão consideradas as áreas em telha de fibrocimento que cobrem os blocos de A à F, com inclinação semelhante à latitude do local. Uma foto da planta de coberta do prédio cedida pela diretoria, em anexo, foi o máximo que puderam oferecer para contribuir para o levantamento da área de cobertura. Então, de acordo com a planta, os blocos apresentam as seguintes áreas de cobertura.

- BLOCO A 538,31 m²;
- BLOCO B 899,05 m²;
- BLOCO C 296,91 m²;
- BLOCO D 295,08 m²;
- BLOCO E 326,95 m²;
- BLOCO F 332,83 m²;

Sendo assim, a área útil de cobertura total é de 2.689,13 m².

4.1.4 Estudo da Radiação Local

O estudo da incidência de irradiação solar no local foi realizado com o auxílio da plataforma do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio Brito (CRESESB), com a inserção das coordenadas geográficas do prédio. Para Latitude 8.97654536 (S) e Longitude 38.21550845 (O), tem-se os dados descritos na tabela 1.

Tabela 1 – Irradiação Solar no plano inclinado na Latitude 9,001°

Período	Irradiação (kWh/m².dia)
Janeiro	6,03
Fevereiro	6,00
Março	6,18
Abril	5,71
Maio	4,97
Junho	4,47
Julho	4,67
Agosto	5,30
Setembro	6,06
Outubro	6,03
Novembro	6,26
Dezembro	6,10
Média Anual	5,65

Fonte: Elaborado pelo Autor, Adaptação do CRESESB (2022).

Foi feita a opção por extrair os dados de irradiação solar no plano inclinado, visto que os módulos serão instalados na cobertura dos blocos do prédio, onde terão inclinação igual à do telhado que, após avaliação em campo, foi considerada semelhante à latitude (9°). Villalva (2020) em um artigo postado no Canal Solar, conclui com a recomendação pela opção de instalar os painéis com o mesmo ângulo de Latitude da cidade, prezando assim, por uma produção de energia constante ao longo do ano, sem privilegiar nenhuma época em específico.

4.1.5 Consumo Mensal de Energia no Hospital

Para levantamento do consumo mensal de energia no hospital, foi realizado um recorte dos doze meses entre agosto/2021 e julho/2022, onde mensura-se o consumo em kW e o custo real gerado no período. As informações foram cedidas pela diretoria da instituição e pelo setor financeiro do município, fornecendo o relatório das últimas contas do hospital. Os dados podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2 - Dados de consumo e custos do hospital com energia elétrica no recorte temporal da pesquisa

1311.p3131. 413. p33 q41.33.			
Mês	Consumo (kWh)	Valor (R\$)	
Agosto/2021	20.024,78	20.159,67	
Setembro/2021	23.241,74	22.425,47	
Outubro/2021	27.413,28	26.200,75	

301.049,27	280.357,44
,	- ,
18.914,83	16.146,36
20.411,28	17.788,65
24.325,49	22.429,24
26.404,42	22.095,20
28.349,42	26.680,44
27.921,17	26.053,99
29.242,80	26.556,24
27.107,42	27.130,60
27.692,64	26.690,83
	27.107,42 29.242,80 27.921,17 28.349,42 26.404,42 24.325,49 20.411,28

Com isso, nota-se que no período do estudo o hospital teve um consumo de 301.049,27 kW de energia elétrica, o que resultou em R\$ 280.357,44 reais em despesas, o que implica em um custo de R\$ 0,931 por kWh. Diante disso, reforça-se a proposta do trabalho que é verificar se a instalação de módulos fotovoltaicos para geração de energia própria por parte da instituição, pode configurar um quadro de economia energética e redução de custos.

4.2 Dimensionamento dos Sistemas

Para a análise dos resultados serão avaliados dois cenários. O primeiro cenário considera o caso onde a instituição torna-se autossustentável energeticamente, gerando toda a sua demanda anual necessária através do sistema, o que deve implicar na necessidade de um sistema de minigeração de energia com potência superior à 75kWp. Em um segundo cenário, será feita a análise de um sistema dentro dos limites de microgeração impostos pela ANEEL, com porte máximo de 75 kWp. O método utilizado a seguir para o dimensionamento foi realizado segundo escrito por Ibanez (2022) e Pinho e Galdino (2014).

4.2.1 Sistema FV para Autossuficiência Energética do Hospital (SISTEMA I)

Segundo Ibanez (2022), o primeiro parâmetro a ser determinado é a Energia de Compensação (*Ec*) que pode ser definida como a energia mínima que se deve produzir para equiparar o consumo da Unidade Consumidora (UC). Para encontrar a

Ec, subtrai do consumo médio da unidade, o valor do Custo de Disponibilidade (*Cd*), que para um sistema trifásico, a concessionaria cobra 100 kWh. Então:

a) Energia de Compensação (Ec):

$$Ec = CMm - Cd$$

$$Ec = 25.087,44 \ kWh/mes - 100 \ kWh/mes$$

$$Ec = 24987,44 \ kWh/mes$$

Em seguida, calcula-se a Energia de Compensação Diária (*Ecd*) que, nada mais é, que a quantidade de energia que deve ser gerada diariamente pelo sistema. Logo:

b) Energia de Compensação Diária (Ecd):

$$Ecd = \frac{Ec}{30 \ dias}$$

$$Ecd = \frac{24.987,44 \, kWh/mes}{30 \, dias}$$

$$Ecd = 832,91 \, kWh/dia$$

Com isso, utiliza-se o valor da Irradiância Solar (*HSP*) da região para encontrar a Potência-Pico do Sistema (*P*_{peak}), que é a potência do sistema em condições ideais, onde desconsidera-se as perdas. A irradiância solar média anual (*HSP*) já foi encontrada através da plataforma do CRESESB sendo igual à 5,65 kWh/m².dia, então temos:

c) Potência-Pico (Ppeak):

$$P_{peak} = \frac{Ecd}{HSP}$$

$$P_{peak} = \frac{832,91 \, kWh/dia}{5,65 \, \frac{kWh}{m^2 \cdot dia}} = 147,42 \, kWp$$

É recomendado considerar cerca de 30% de perdas para todo o sistema. Logo, acrescenta-se os valores de perdas aos cálculos e encontra-se a potência efetiva do sistema fotovoltaico (*PotSFV*) da seguinte maneira:

$$PotSFV = P_{peak} \cdot 1,3$$

 $PotSFV = 147,42 \ kWp \cdot 1,3$
 $PotSFV = 191,64 \ kWp$

Conhecida a potência efetiva do sistema, é hora de escolher o fornecedor dos módulos fotovoltaicos e estimar a quantidade necessária de módulos para a geração da potência requerida. Para a escolha do fornecedor, foram feitas consultas a catálogos e a pessoas que trabalham no setor. Então o módulo escolhido foi o modelo MLTK-36 Bifacial com potência de 535W da marca BYD de fabricação nacional, certificados pelo INMETRO e parceiros do Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES) em programas de financiamento de energia solar fotovoltaica. O mesmo vale para os dois sistemas e no quadro 1 estão as principais informações a respeito do módulo escolhido.

Quadro 1 - Informações técnicas dos módulos

Fabricante	BYD
Potência Nominal (P _{mod)}	535 W
Eficiência	20,9%
Garantia de Performance	30 anos
Degradação Anual	0,59%
Dimensões	2256x1133x35 mm
Área	2,56 m ²

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptação do Datasheet do MLTK-36, BYD (2022).

Tendo determinado o modelo dos módulos a serem instalados, é possível obter o número estimado de módulos da seguinte forma:

d) Número Estimado de Módulos (NmEstMod):

$$NmEstMod = \frac{PotSFV \cdot 1000}{Pmod}$$

$$NmEstMod = \frac{191,64 \ kWp \cdot 1000}{535 \ W}$$

 $NmEstMod = 358,20 \ m\'odulos$

Como o número de módulos estimados não deu um valor real exato, pode-se optar por arredondar o valor para baixo e instalar 358 módulos abrindo mão de alguns Watts de potência gerada e diminuindo o custo ou instalar 359 módulos e garantir que a proposta de geração inicial seja atingida e com alguma sobra. Neste caso, opta-se por garantir a geração desejada.

e) Dimensionamento do Inversor

O próximo passo no dimensionamento do sistema é escolher e dimensionar o inversor responsável por transformar a corrente contínua captada pelos módulos em corrente alternada. Para a escolha do inversor, utilizou-se os mesmos métodos usados para o módulo. Então foi escolhido com a ajuda de profissionais da área, o modelo trifásico 6000 da linha TL da SOFAR de 60 kW para os dois sistemas.

O arranjo dos módulos fotovoltaicos pode ser feito em série, em paralelo ou de forma mista. Um conjunto de painéis ligados em série denomina-se *String* ou Fileira. Para este caso, teremos conectados ao inversor, algumas *strings* em cada entrada MPPT (Maximum Power Point Tracking) do dispositivo. A tecnologia MPPT permite rastrear o ponto de maior potência no sistema, ocasionando o máximo aproveitamento da energia gerada pelas placas.

f) Dimensionamento das Strings

Para o dimensionamento das strings é necessário fazer algumas verificações técnicas para a conexão Módulos-Inversor. Então, foram extraídas dos catálogos dos modelos e apresentadas nos quadros 2 e 3, algumas informações importantes para a

realização das verificações.

Quadro 2 - Dados técnicos dos módulos

MÓDULO FV MLTK-36 BIFACIAL, BYD, 535 W			
Potência Nominal (Pmod) 535 W			
Tensão de operação Ideal (Vmp)	41,83 V		
Corrente de operação Ideal (Imp) 12,79 A			
Tensão de circuito aberto (Voc)	49,42 V		
Corrente de curto-circuito (Isc)	13,49 A		

Fonte: Elaborado pelo Autor, Adaptado do Datasheet do modelo (2022).

Quadro 3 - Dados técnicos do Inversor

INVERSOR LINHA TL, SOFAR, 60 kW			
Máx. corrente entrada (Idc) 40 A			
Máx. corrente de curto (Icc) 48 A			
Mín. tensão de entrada (Vdc _{min}) 250 V			
Máx. tensão de entrada (Vdc _{max}) 1000 V			
Faixa de operação 250 - 950 V			
Número de MPPTS	3		

Fonte: Elaborado pelo Autor, Adaptado do Datasheet do modelo (2022).

As verificações necessárias foram feitas segundo Pinho e Galdino (2014). Para eles, o número máximo de módulos em uma string deve ser menor ou igual à máxima tensão de entrada do inversor (Vdc_{max}) logo, divide-a pela tensão de circuito aberto (Voc) do módulo. Então o número de módulos em uma string (ModString):

$$NmModString = \frac{Vdc_{max}}{Voc}$$

$$NmModString = \frac{1000 \, V}{49,42 \, V}$$

 $ModString = 20,23 \cong 20 \ m\'odulos.$

Também é indicada a verificação da tensão máxima de operação por MPPT do inversor. Para isso, é feita a multiplicação entre o número de módulos na string (*NmModString*) e a tensão de operação ideal dos módulos (*Vmp*), o resultado do

produto deve ser menor que a tensão máxima da faixa de operação do inversor (*Vmax,op*). Verifica-se assim:

$$NmModString \cdot Vmp < Vmáx, op$$

 $20 \cdot 41,83 V < 950 V$
 $836,6 V < 950 V$

Logo, o número de 20 módulos por string atende aos requisitos necessários para o pleno funcionamento do inversor.

Em seguida, podemos calcular e conhecer a potência de cada String (*PotString*) ao multiplicar a quantidade de módulos (*NmModString*) pela potência nominal dos módulos (*Pmod*). Assim:

$$PotString = NmModString \cdot Pn$$

 $PotString = 20 \cdot 535 W$
 $PotString = 10,7 kW$

O catálogo do inversor indica que para cada MPPT existem 4 entradas de CC. Com isso, podemos ter 4 associações em paralelo para cada MPPT, resultando em um total de 12 strings. A última verificação a ser feita é quanto à potência nominal do inversor.

Com isso, é possível fazer a opção pelo melhor arranjo para a conexão entre os módulos e os inversores. Diante disso, foi feita a opção por instalar os 359 módulos fotovoltaicos divididos em 3 inversores iguais de 60 kW, onde um deles receberá a geração de 120 módulos e os outros dois de 119 módulos.

Assim os inversores terão, no máximo, 120 módulos conectados, o que implica na potência de 64,2 kW por inversor que é tolerada pelo dispositivo. No total, os três inversores e os 359 módulos compõem um sistema com geração de 192,06 kWp.

O próximo passo é avaliar a área necessária (*Anec*) para a instalação do sistema e verificar se temos área útil suficiente para tal. Segundo IBANEZ (2022), deve ser considerado para o cálculo da área necessária de instalação, um coeficiente chamado Fator de Borda (*Fb* = 1,4) que representa a área de utilização para ajustar a disposição dos módulos.

Com isso, a área mínima necessária para instalação do sistema pode ser calculada através do produto entre a área ocupada por cada módulo, o fator de borda e o número de módulos que serão instalados, como podemos ver na equação a seguir:

g) Área necessária de Instalação (Anec):

Área do módulo (Smod): 2,56 m²;

$$Anec = Smod \cdot Fb \cdot NmMdInv$$

 $Anec = 2,56 \cdot 1,4 \cdot 120$
 $Anec = 430,08 m^{2}$.

Conclui-se então que, para cada arranjo com 1 inversor e 120 módulos, é necessária uma área útil de instalação de 430,08 m², o que demanda um total de 1.290,24 m² de área de cobertura para comportar o sistema composto pelos 3 inversores e seus 359 módulos, menor que os 2.689,13 m² de área total já calculados.

4.2.2 Sistema de Microgeração com 72 kWp

Para este caso, o procedimento é análogo ao dimensionamento do primeiro sistema, porém partindo do ponto em que a potência final do sistema fotovoltaico (*PotSFV*) é igual à 72 kWp. Então:

a) Número estimado de módulos (*NmEstMd*):

$$NmEstMod = \frac{PotSFV \cdot 1000}{Pmod}$$

$$NmEstMod = \frac{72 \ kWp \cdot 1000}{535 \ W}$$

 $NmEstMod = 134,57 \ m\'odulos$

Nessa situação, será feita a opção por um sistema composto, previamente, por

134 módulos que entregarão a geração de 71,7 kWp.

Como já foi dimensionado anteriormente, sabemos que todas as condições para a instalação dos módulos e do inversor serão atendidas. Logo, o sistema dimensionado conta com 134 módulos de 535 W, que irão gerar uma potência de 71,7 kW menor que a potência máxima de entrada suportada pelo inversor, confirmando a segura instalação e seguindo recomendação da empresa que orçou os sistemas.

A área necessária para a instalação do SISTEMA II é de:

b) Área necessária de Instalação (Anec):

Área do módulo (Smod): 2,56 m²;

$$Anec = Smod \cdot Fb \cdot NmMdInv$$

$$Anec = 2,56 \cdot 1,4 \cdot 134$$

$$Anec = 480,26 m^{2}.$$

Então é necessária uma área útil de instalação de 480,26 m² de área de cobertura para comportar o sistema, menor que os 2.689,13 m² de área total já calculados.

4.3 Estimativa de Custos do Sistema

Após concluído o dimensionamento e levando em consideração todas as decisões técnicas tomadas durante o processo, as tabelas 3 e 4 abaixo resumem as especificações principais dos sistemas.

Tabela 3 - Resumo das informações técnicas do Sistema I

SISTEMA DIMENSIONADO PARA 192,06 kWp		
Potência de pico	192,06 kWp	
Fabricante dos módulos	BYD	
Potência dos módulos	535 Wp	
Quantidade de módulos	359	
Fabricante do inversor	SOFAR	
Potência do inversor	60 kW	

Quantidade de inversores	3
Área estimada necessária pro sistema	1290,24 m ²
Vida útil do sistema	25 anos

Tabela 4 - Resumo das informações técnicas do Sistema II

SISTEMA DIMENSIONADO PARA 71,69 kWp			
Potência de pico	71,69 kWp		
Fabricante dos módulos	BYD		
Potência dos módulos	535 Wp		
Quantidade de módulos	135		
Fabricante do inversor	SOFAR		
Potência do inversor	60 kW		
Quantidade de inversores	1		
Área estimada necessária do sistema	480,26 m ²		
Vida útil do sistema	25 anos		
Perdas consideradas	30 %		
Geração real aproximada	55,14 kWp		

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Para estimativa do custo aproximado de cada sistema, foi feito o contato a uma empresa especializada em sistemas fotovoltaicos na região, que realizou um orçamento prévio e também concedeu o acesso aos preços dos fornecedores parceiros. Tendo essas informações, foi realizada uma adaptação e chegou-se aos seguintes dados de custo nas tabelas 5 e 6.

Tabela 5 - Estimativa de Custos do Sistema I

SISTEMA DIMENSIONADO PARA 192,06 kWp				
Item Custo Unitário (R\$) Custo Total				
Módulos	1.180	423.620		
Inversor	24.000	72.000		
Projeto Elétrico + ART	40.000	40.000		
Mão de Obra	80 por placa	28.720		
Estrutura	500 a cada 4 módulos	45.000		
Cabos, Conectores, Disjuntores e	240.660	240.660		
Transformador				
INVESTIMENTO TOTAL		850.000		

Fonte: Elaborado pelo Autor, Adaptado da Proposta Comercial da Empresa Consultada em outubro (2022).

Tabela 6 - Estimativa de Custos do Sistema II

SISTEMA DIMENSIONADO PARA 71,69 kWp			
Item	Custo Total (R\$)		
Módulos	1.180	159.300	
Inversor	24.000	24.000	
Projeto Elétrico + ART	17.000	17.000	
Mão de Obra	80 por placa	10.800	
Estrutura	500 a cada 4 módulos	17.000	
Cabos, Conectores e Disjuntores	80.000	72.000	
INVESTIMENTO TOTAL		300.000	

Fonte: Elaborado pelo Autor, Adaptado da Proposta Comercial da Empresa Consultada em outubro (2022).

4.4 Relação Geração X Consumo de Energia

Analisando a relação entre a geração de energia advinda dos sistemas dimensionados, nota-se que no primeiro caso, a geração de 192,06 kWp tem potencial para suprir toda a demanda anual do prédio, tornando-o autossustentável em termos de energia elétrica. Na segunda situação, a potência pico de 71,69 kWp pode reduzir pouco menos de 40% da demanda da instituição. A seguir, temos o comparativo mensal entre o consumo e a produção para cada sistema, expostos no gráfico 2 e nas tabelas 7 e 8.



Gráfico 2 – Relação Consumo x Produção de 192,06 kWp x Produção de 71,7 kWp

Tabela 7 - Relação entre o consumo e a geração do sistema I a cada mês

Período	Consumo	Geração do	Diferença
	(kWh)	Sistema (kWh)	(kWh)
Agosto	20.024,78	23.555,85	3.531,07
Setembro	23.241,74	26.933,67	3.691,93
Outubro	27.413,28	26.800,33	-612,94
Novembro	27.692,64	27.822,57	129,93
Dezembro	27.107,42	27.111,45	4,03
Janeiro	29.242,8	26.800,33	-2.442,46
Fevereiro	27.921,17	26.667,0	-1.254,17
Março	28.349,42	27.467,01	-882,41
Abril	26.404,42	25.378,09	-1.026,32
Maio	24.325,49	22.089,16	-2.236,32
Junho	20.411,28	19.866,91	-544,36
Julho	18.914,83	20.755,81	1.840,98
Anual	301.049,27	301.284,21	198,94

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Ao observar o gráfico 2 e a tabela 7 podemos ver a autossuficiência comprovada pro caso de implantação do primeiro sistema, onde o consumo de 301.049,27 kWh anual é coberto pelos 301.284,21 kWh de geração própria, o que indica um saldo positivo e uma pequena sobra de 198,94 kWh. Os dados de geração

foram obtidos através da relação entre a potência do sistema e os valores de irradiação para cada mês.

Tabela 8 - Relação entre o consumo e a geração do sistema II a cada mês

Período	Consumo	Geração do	Diferença
	(kWh)	Sistema (kWh)	(kWh)
Agosto	20.024,78	8767,26	-11257,52
Setembro	23.241,74	10024,45	-13217,29
Outubro	27.413,28	9974,83	-17438,45
Novembro	27.692,64	10355,29	-17337,35
Dezembro	27.107,42	10090,62	-17016,80
Janeiro	29.242,8	9974,83	-19267,97
Fevereiro	27.921,17	9925,20	-17995,97
Março	28.349,42	10222,96	-18126,46
Abril	26.404,42	9445,48	-16958,94
Maio	24.325,49	8221,37	-16104,12
Junho	20.411,28	7394,27	-13017,01
Julho	18.914,83	7725,11	-11189,72
Anual	301.049,27	112.121,68	-188.927,59

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Olhando para a tabela 8, o segundo sistema apresenta uma geração de 112.121,68 kWh em um ano, o que corresponde a 37,2% do total consumido pela instituição.

Os mesmos dados podem ser analisados do ponto de vista econômico-financeiro. Para obtenção dos valores, em reais, foi considerado o preço médio do kWh pros doze meses como R\$ 0,93. Sendo assim, seguem os dados.

Tabela 9 - Relação financeira mensal entre o consumo e a geração do sistema I

Período	Consumo	Geração do	Diferença
		Sistema	
Agosto	R\$ 18.648,42	R\$ 21.936,79	R\$ 3.288,37
Setembro	R\$ 21.644,27	R\$ 25.082,44	R\$ 3.438,17
Outubro	R\$ 25.529,08	R\$ 24.958,27	-R\$ 570,82
Novembro	R\$ 25.789,24	R\$ 25.910,24	R\$ 121,00
Dezembro	R\$ 25.244,25	R\$ 25.248,00	R\$ 3,75
Janeiro	R\$ 27.232,85	R\$ 24.958,27	-R\$ 2.274,59
Fevereiro	R\$ 26.002,06	R\$ 24.834,10	-R\$ 1.167,97
Março	R\$ 26.400,88	R\$ 25.579,12	-R\$ 821,76
Abril	R\$ 24.589,57	R\$ 23.633,78	-R\$ 955,78

Maio	R\$ 22.653,53	R\$ 20.570,91	-R\$ 2.082,62
Junho	R\$ 19.008,35	R\$ 18.501,40	-R\$ 506,95
Julho	R\$ 17.614,76	R\$ 19.329,21	R\$ 1.714,45
Anual	R\$ 280.357,25	R\$ 280.542,52	R\$ 185,27

Na tabela 9, para a minigeração de 192,06 kWp, os resultados apresentam um lucro de 185,27 reais, dada a geração no valor de R\$ 280.542,52 maior que os custos de consumo no mesmo período.

Tabela 10 - Relação financeira mensal entre o consumo e a geração do sistema II

Período	Consumo	Geração do	Diferença
		Sistema	
Agosto	R\$ 18.648,42	R\$ 8.153,55	-R\$ 10.494,86
Setembro	R\$ 21.644,27	R\$ 9.322,74	-R\$ 12.321,53
Outubro	R\$ 25.529,08	R\$ 9.276,59	-R\$ 16.252,49
Novembro	R\$ 25.789,24	R\$ 9.630,42	-R\$ 16.158,82
Dezembro	R\$ 25.244,25	R\$ 9.384,28	-R\$ 15.859,97
Janeiro	R\$ 27.232,85	R\$ 9.276,59	-R\$ 17.956,27
Fevereiro	R\$ 26.002,06	R\$ 9.230,44	-R\$ 16.771,63
Março	R\$ 26.400,88	R\$ 9.507,35	-R\$ 16.893,53
Abril	R\$ 24.589,57	R\$ 8.784,30	-R\$ 15.805,27
Maio	R\$ 22.653,53	R\$ 7.645,88	-R\$ 15.007,65
Junho	R\$ 19.008,35	R\$ 6.876,67	-R\$ 12.131,68
Julho	R\$ 17.614,76	R\$ 7.184,36	-R\$ 10.430,40
Anual	R\$ 280.357,25	R\$ 104.273,16	-R\$ 176.084,09

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Para o sistema de microgeração, é possível gerar no período de um ano, aproximadamente R\$ 104.273,16 reais, o que ocasiona economia considerável de 37,2% no valor total dos custos.

De modo geral, é inegável que a instalação de um sistema fotovoltaico em ambos os casos, pode ser muito benéfica ao hospital do ponto de vista da redução de custos com energia elétrica.

4.5 Análise de Viabilidade Técnica

Como já citado, existem alguns critérios que podem indicar se a instalação do

sistema é viável. Durante o dimensionamento dos projetos, foi possível fazer todas as verificações necessárias e então, chegar à conclusão de que a instalação é tecnicamente viável e a confirmação de que a redução dos custos com energia elétrica pode acontecer de forma satisfatória.

Os sistemas puderam ser dimensionados e ter sua eficiência e pleno funcionamento comprovados, foi confirmada a disponibilidade de área necessária de cobertura no prédio para receber os módulos, o índice de irradiância na região é alto, o que permite boa captação e aproveitamento do potencial solar por parte dos módulos.

Dito isso, não há nenhuma característica técnica dentro das condições consideradas para a elaboração do projeto que o impeça de ser executado e ter seu pleno funcionamento, estando assim a cumprir com o objetivo de trazer redução de custos com energia elétrica para a instituição.

4.6 Análise de Viabilidade Financeira

RUIZ et. al. (2021), define a análise de investimento como o processo de analisar qualitativa e quantitativamente, de forma adequada, a aplicação de capitais com finalidade produtiva. O autor ainda cita que Palepu e Healy (2013) consideram que uma análise financeira detalhada compreende quatro etapas e uma delas, a análise financeira, deve ser utilizada para examinar índices e geração de fluxos de caixa da operação.

A análise financeira para realização de investimentos tem grande importância, visto que, permite ter melhor noção e controle a respeito dos fluxos de caixa, da rentabilidade e lucratividade de um investimento em todo o seu horizonte.

Afim de analisar o investimento nestes projetos, o primeiro indicador a ser definido é a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que indica o percentual de lucro desejado para o projeto. Após isso será calculado o Valor Presente Líquido, a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Payback Descontado. O horizonte do projeto foi definido para os 25 anos correspondentes à vida útil do sistema fotovoltaico.

Para a decisão do valor percentual de atratividade pro projeto, levou-se em consideração os valores da taxa SELIC e da taxa de rendimento de 100% do CDI, que são taxas de referência para os casos de linhas de crédito e investimento. Respectivamente, as taxas estão estipuladas para 2022 em 13,75% e 13,65%,

portanto opta-se por uma TMA de 13,75% para o presente projeto.

A análise financeira deve ser feita com base em algumas considerações. Primeiro deve-se optar por considerar ou não, a perda de rendimento do sistema de aproximadamente 20% ao fim dos 25 anos. Necessita-se também optar por levar em conta ou não, a inflação tarifaria para a energia elétrica ao longo do período do projeto.

Na presente análise, serão consideradas as condições apontadas pela empresa que orçou o sistema e definiu a taxa de degradação dos painéis como de 0,8% ao ano e a inflação energética projetada em 10% ao ano.

4.6.1 Análise Financeira do Sistema

Diretrizes para análise do Sistema I:

- Taxa de degradação dos módulos 0,8% a.a.
- Taxa de inflação energética 10% a.a.
- Custo de manutenção 0,5% do valor do investimento a.a.

O primeiro índice a ser calculado é o dos fluxos de caixa (FC) ao longo dos anos. Para isso, foram calculadas as receitas e despesas anuais do projeto, e então foram subtraídos das receitas os valores das despesas, resultando nos seguintes valores de fluxos de caixa indicados na tabela 11.

Fluxo de Caixa (FC) = Receitas - Despesas
$$FC(0) = Investimento\ Inicial = -850.000\ reais.$$

$$FC(1) = Receitas\ (1) - Despesas\ (1)$$

$$FC(1) = 278.311,41 - 4250,00 = 274.061,41\ reais.$$

Tabela 11 - Dados utilizados para encontrar os valores presentes do projeto

Ano	Geração (kWh)	Tarifa (R\$/kWh)	Receitas (R\$)	Despesas (Manut.)	Fluxos de Caixa (R\$)
0	-	-	-	-	-850.000,00
1	298.873,94	0,93	278.311,41	4.250,00	274.061,41
2	296.463,66	1,02	303.673,66	4.250,00	299.423,66
3	294.053,39	1,13	331.325,24	4.250,00	327.075,24
4	291.643,12	1,24	361.470,41	4.250,00	357.220,41
5	289.232,84	1,36	394.331,36	4.250,00	390.081,36

6	286.822,57	1,50	430.149,79	4.250,00	425.899,79
7	284.412,29	1,65	469.188,59	4.250,00	464.938,59
8	282.002,02	1,81	511.733,66	4.250,00	507.483,66
9	279.591,75	2,00	558.095,85	4.250,00	553.845,85
10	277.181,47	2,20	608.613,15	4.250,00	604.363,15
11	274.771,20	2,42	663.652,95	4.250,00	659.402,95
12	272.360,93	2,66	723.614,58	4.250,00	719.364,58
13	269.950,65	2,92	788.932,00	4.250,00	784.682,00
14	267.540,38	3,21	860.076,76	4.250,00	855.826,76
15	265.130,10	3,54	937.561,15	4.250,00	933.311,15
16	262.719,83	3,89	1.021.941,65	4.250,00	1.017.691,65
17	260.309,56	4,28	1.113.822,65	4.250,00	1.109.572,65
18	257.899,28	4,71	1.213.860,42	4.250,00	1.209.610,42
19	255.489,01	5,18	1.322.767,52	4.250,00	1.318.517,52
20	253.078,74	5,70	1.441.317,44	4.250,00	1.437.067,44
21	250.668,46	6,26	1.570.349,67	4.250,00	1.566.099,67
22	248.258,19	6,89	1.710.775,17	4.250,00	1.706.525,17
23	245.847,92	7,58	1.863.582,27	4.250,00	1.859.332,27
24	243.437,64	8,34	2.029.843,05	4.250,00	2.025.593,05
25	241.027,37	9,17	2.210.720,15	4.250,00	2.206.470,15

Os próximos itens encontrados foram o saldo do investimento a cada ano (S) e o valor presente (VP). O valor presente é dado pela relação entre o fluxo de caixa de um ano qualquer e a TMA (13,75%) para o mesmo período (n) do fluxo de caixa, conforme demonstrado a seguir.

$$VP(0) = -850.000 \ reais.$$

$$VP(1) = \frac{FC(1)}{(1 + TMA)^n}$$

$$VP(1) = \frac{274.061,41}{(1+0,1375)^1} = 240.933,11 \ reais.$$

O Valor Presente é utilizado para visualizar o valor do dinheiro com o passar do tempo. Neste caso, diz-se que 274.061,41 reais daqui 1 ano, vale hoje 240.933,11 reais.

O saldo é dado pela soma do fluxo de caixa do ano atual ao valor do saldo do

ano anterior. Segue demonstração.

$$S(0) = Investimento\ Inicial = -850.000\ reais.$$

$$S(1) = S(0) + FC(1)$$

$$S(1) = -850.000 + 274.061,41 = -575.938,59\ reais.$$

Segue então a tabela com os valores representados para todos os anos do projeto.

Tabela 12 - Tabela de Valor Presente e Saldo anuais do projeto

Ano	Valor Presente (R\$)	Saldo (R\$)
0	-850.000,00	-850.000,00
1	240.933,11	-609.066,89
2	231.410,63	-377.656,26
3	222.225,28	-155.430,99
4	213.368,67	57.937,68
5	204.832,17	262.769,85
6	196.607,01	459.376,86
7	188.684,30	648.061,16
8	181.055,12	829.116,28
9	173.710,58	1.002.826,86
10	166.641,79	1.169.468,65
11	159.839,98	1.329.308,63
12	153.296,48	1.482.605,11
13	147.002,74	1.629.607,85
14	140.950,36	1.770.558,21
15	135.131,12	1.905.689,32
16	129.536,97	2.035.226,29
17	124.160,04	2.159.386,33
18	118.992,67	2.278.379,01
19	114.027,40	2.392.406,40
20	109.256,94	2.501.663,35
21	104.674,26	2.606.337,60
22	100.272,49	2.706.610,09
23	96.044,98	2.802.655,07
24	91.985,31	2.894.640,38
25	88.087,22	2.982.727,61

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Conhecendo todas essas informações, podemos então calcular agora o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e identificar o Payback

Descontado para o projeto.

O *VPL* é dado pela soma de todos os Valores Presentes (*VPs*) em cada ano com a subtração do valor do investimento inicial.

Para *VPL* > 0, o investimento é viável;

Para VPL = 0, o investimento é indiferente;

Para *VPL* < 0, o investimento deve ser rejeitado;

Para este projeto:

$$VPL = VP(1) + VP(2) \dots VP(25) - Investimento Inicial$$

Utilizando o Excel foi possível encontrar um *VPL* de R\$ 2.982.727,61 reais, o que considera o investimento viável.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) do projeto, pode ser definida como a taxa que, ao ser aplicada na fórmula do Valor Presente, faz o *VPL* ser igual à 0.

$$VP = \frac{FC}{(1+i)^n}$$

Então a TIR é o valor de i que faz VP = 0.

Se a TIR > TMA, o investimento é viável;

Se a *TIR* < *TMA*, o investimento deve ser rejeitado;

Com o auxílio do Excel, a *TIR* encontrada foi de 41%, o que confirma a viabilidade financeira do investimento, valendo ressaltar que é uma taxa de retorno bem alta e que o investimento é muito seguro.

Por fim, o Payback Descontado pode ser encontrado através de uma equação relacionando o valor do último ano (n) de saldo negativo, o valor do saldo neste ano S(n) e o VP do primeiro ano de saldo positivo VP(n+1). Segue a demonstração.

Payback Descontado =
$$n - \frac{S(n)}{VP(n+1)}$$

Observando a tabela é possível notar que:

$$n = 3;$$

 $S(n) = S(3) = -155.430,99 \text{ R};$
 $VP(n+1) = VP(4) = 213.368,67 \text{ R};$

Logo:

$$Payback\ Descontado = 3 - (\frac{-155.430,99}{213.368,67})$$

 $Payback\ Descontado = 3,7\ anos = 3\ anos\ e\ 8\ meses.$

4.6.2 Análise Financeira do Sistema II

Diretrizes para análise do Sistema II:

- Taxa de degradação dos módulos 0,8% a.a.
- Taxa de inflação energética 10% a.a.
- Custo de manutenção 0,5% do valor do investimento a.a.

De modo análogo à análise do sistema I, as diretrizes e os procedimentos matemáticos para o sistema II seguem a mesma estrutura, sendo diferentes apenas os valores do investimento inicial, das receitas e despesas. O primeiro cálculo a ser feito foi para ps fluxos de caixa ao longo dos 25 anos do projeto, tendo a tabela 13 a seguir como resultados.

Fluxo de Caixa (FC) = Receitas - Despesas
$$FC(0) = Investimento\ Inicial = -300.000\ reais.$$

$$FC(1) = Receitas\ (1) - Despesas\ (1)$$

$$FC(1) = 103.572,45 - 1.500,00 = 102.072,45\ reais.$$

Tabela 13 - Dados utilizados para encontrar os valores presentes do projeto

Ano	Geração	Tarifa	Receitas (R\$)	Despesas	Fluxos de
	(kWh)	(R\$/kWh)		(Manut.)	Caixa (R\$)
0	-	-	-	-	-300.000,00
1	111.224,71	0,93	103.572,45	-1.500,00	102.072,45
2	110.327,73	1,02	113.010,90	-1.500,00	111.510,90
3	109.430,76	1,13	123.301,33	-1.500,00	121.801,33
4	108.533,79	1,24	134.519,73	-1.500,00	133.019,73
5	107.636,81	1,36	146.748,79	-1.500,00	145.248,79
6	106.739,84	1,50	160.078,47	-1.500,00	158.578,47
7	105.842,87	1,65	174.606,61	-1.500,00	173.106,61
8	104.945,89	1,81	190.439,58	-1.500,00	188.939,58
9	104.048,92	2,00	207.693,08	-1.500,00	206.193,08
10	103.151,95	2,20	226.492,88	-1.500,00	224.992,88
11	102.254,97	2,42	246.975,72	-1.500,00	245.475,72
12	101.358,00	2,66	269.290,19	-1.500,00	267.790,19
13	100.461,03	2,92	293.597,80	-1.500,00	292.097,80
14	99.564,05	3,21	320.074,03	-1.500,00	318.574,03
15	98.667,08	3,54	348.909,53	-1.500,00	347.409,53
16	97.770,10	3,89	380.311,38	-1.500,00	378.811,38
17	96.873,13	4,28	414.504,52	-1.500,00	413.004,52
18	95.976,16	4,71	451.733,16	-1.500,00	450.233,16
19	95.079,18	5,18	492.262,50	-1.500,00	490.762,50
20	94.182,21	5,70	536.380,36	-1.500,00	534.880,36
21	93.285,24	6,26	584.399,17	-1.500,00	582.899,17
22	92.388,26	6,89	636.657,95	-1.500,00	635.157,95
23	91.491,29	7,58	693.524,48	-1.500,00	692.024,48
24	90.594,32	8,34	755.397,74	-1.500,00	753.897,74
25	89.697,34	9,17	822.710,41	-1.500,00	821.210,41

Em seguida foram encontrados o valor presente (VP) e o saldo (S) anuais pro investimento. Como já demonstrado antes, seguem os resultados na tabela 14.

Tabela 14 - Tabela de Valor Presente e Saldo anuais do projeto

Ano	Valor Presente (R\$)	Saldo (R\$)
0	-300.000,00	-300.000,00
1	89.734,02	-210.265,98

2	86.181,59	-124.084,39
3	82.755,68	-41.328,71
4	79.453,02	38.124,32
5	76.270,31	114.394,62
6	73.204,17	187.598,79
7	70.251,21	257.850,00
8	67.408,04	325.258,04
9	64.671,28	389.929,32
10	62.037,56	451.966,88
11	59.503,58	511.470,46
12	57.066,05	568.536,51
13	54.721,75	623.258,26
14	52.467,54	675.725,80
15	50.300,31	726.026,11
16	48.217,04	774.243,15
17	46.214,78	820.457,93
18	44.290,66	864.748,59
19	42.441,89	907.190,48
20	40.665,73	947.856,20
21	38.959,55	986.815,75
22	37.320,79	1.024.136,54
23	35.746,96	1.059.883,50
24	34.235,66	1.094.119,17
25	32.784,56	1.126.903,72
		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

Por fim, calcula-se o *VPL*, a *TIR* e *o Payback Descontado* com o auxílio do Excel, obtendo os seguintes resultados.

- VPL = 1.126.903,72 > 0.
- TIR = 43% > TMA.
- Payback Descontado = 3,5 anos = 3 anos e 6 meses.

Conclui-se então os dimensionamentos e análises da implantação dos sistemas tendo como resultado a confirmação da possibilidade de execução do projeto e valores positivos pros indicadores financeiros utilizados na análise.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao fim da pesquisa, retoma-se o conhecimento já citado a respeito do problema que representam os altos custos do consumo de energia elétrica em órgãos públicos, para a administração federal. Ressalta-se a importância e relevância da promoção de um maior aproveitamento de toda a energia elétrica custeada pelos cofres públicos e de estudos que visam desenvolver planos de eficiência energética para a redução de gastos no setor.

Para este trabalho, foram estabelecidos objetivos, afim de avaliar o impacto que a utilização de energia solar como fonte renovável de geração de energia, pode causar nas instituições públicas, neste caso, no Hospital Municipal de Petrolândia. Com isso, pode-se dizer que todas as metas foram alcançadas ao dimensionar os sistemas e comprovar que sua utilização seria de grande benefício para a instituição, configurando assim o sucesso da pesquisa em todo o seu curso.

Ao observar os resultados obtidos após a coleta e manipulação dos dados e informações relevantes ao projeto, podemos ver a confirmação de que, tecnicamente, o projeto não apresentou problemas que inviabilizassem a instalação dos sistemas. Financeiramente, foi possível observar valores altamente atrativos para cada indicador avaliado.

Os valores de VPL para os dois sistemas demonstram retornos de investimento superiores à 300% do valor investido ao fim dos 25 anos, com retorno do valor investido em menos de 4 anos e taxa de retorno superior à 40% ao ano, o que configura um caso fora da curva em se tratando de investimento nos dias atuais. A TIR do projeto mais que dobrou a Taxa Selic estabelecida como TMA no início do estudo.

Perante o objetivo principal estabelecido no trabalho, definiu-se como hipótese de partida, a possibilidade de confirmar a viabilidade da implementação dos sistemas dadas as condições que envolviam o ambiente do estudo. Então, nota-se ao final da pesquisa que foi deferida a ideia inicial, à medida que os sistemas foram provados viáveis técnica e financeiramente.

É importante citar que esta pesquisa foi feita com base em critérios e metodologia que apresentam algumas limitações. Apesar da possibilidade de chegar também a resultados positivos estudando outras instituições, a pesquisa feita aborda apenas o caso do prédio em questão.

Para caso de execução real de um projeto como tal, deveriam ter sido feitos

estudos mais aprofundados e específicos, como a realização de uma visita técnica junto da equipe da empresa responsável por realizar os projetos, o concebimento de projeto elétrico e diagrama unifilar, um orçamento final com maior exatidão para os custos do projeto, levando em consideração os possíveis programas de financiamento do governo para a implementação de geração própria, a realização de uma vistoria e um maior acesso à verificação do estado e das dimensões de cobertura disponíveis para utilização no prédio.

Diante disso, é possível indicar novas pesquisas com diferentes abordagens e que sanem algumas destas limitações. Recomenda-se a realização de estudos semelhantes em outras instituições de diferente natureza, trabalhos com análise detalhada dos possíveis incentivos que podem ser de fato, oferecidos pelo governo para a realização do projeto no município, trabalhos que busquem uma melhor forma de lidar com os sistemas após os seus 25 anos de vida útil e a degradação dos seus componentes e a aplicação de diferentes critérios de viabilidade financeira para a realização dos projetos.

REFERÊNCIAS

ALVES, Marliana de Oliveira Lage. **ENERGIA SOLAR:** estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Joao Monlevade, 2019. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2019/6/MONOGRAFIA_EnergiasolarEstudo.pdf. Acesso em: 9 set. 2022.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 1 ed., Brasília: ANEEL, 2002.

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf. Acesso em: 09 set. 2022.

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf. Acesso em: 09 set. 2022.

ASSAF NETO, Alexandre. **Finanças corporativas e valor**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Balanço energético nacional - BEN. Brasília: MME, 2022.

CARVALHO, Andre Luiz de Costa. **Metodologia para analise, caracterização e simulação de células fotovoltaicas**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-9RTH9Y. Acesso em: 15 set. 2022.

CARVALHO, Eliana F. A.; CALVETE, Mário J. F.. **Solar Energy**: past, present... a whole future. **Revista Virtual de Química**, Aveiro, v. 2, n. 3, p. 192-203, dez. 2010. Disponível em: http://static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/v2n3a04.pdf. Acesso em: 13 set. 2022.

CELPE oferece desconto de 50% para compra de painéis solares de geração de energia. **NEOENERGIA Pernambuco**, 2019. Disponível em: <a href="https://servicos.neoenergiapernambuco.com.br/sala-de-imprensa/noticias/Paginas/celpe-oferece-desconto-para-compra-de-paineis-solares-de-geração-de-energia.aspx. Acesso em: 19 set. 2022

CENTRO de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito: CRESESB. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/.

Como determinar o ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos?. **Canal Solar**, 2020. Disponível em: https://canalsolar.com.br/como-determinar-o-angulo-de-

inclinacao-dos-modulos-fotovoltaicos/. Acesso em: 30 set. 2022.

DUPONT, Fabrício Hoff; GRASSI, Fernando; ROMITTI, Leonardo. Energias Renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 1, n. 19, p. 70-81, ago. 2015. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/19195/pdf. Acesso em: 12 set. 2022.

Energy Statistics Data Browser. **International Energy Agency: IEA**. Disponível em: https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TESbySource. Acesso em: 12 set. 2022.

FERRARI, Hamilton. Governo federal teve gasto de R\$ 2,4 bilhões com energia em 2017: a despesa da administração federal é vista como um valor excessivo na avaliação de especialistas. **Correio Braziliense.** Brasília, 2018. Disponível em: https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/economia/2018/05/07/internas_economia,678783/gasto-do-governo-com-energia.shtml. Acesso em: 09 set. 2022.

FONTOURA, F. B.; RABUSKE, R.; FRIEDRICH, L. R. Análise da viabilidade para implantação de energia fotovoltaica com utilização para sombreamento de estacionamento. **Estudos do CEPE**, p. 36-48, 12 set. 2018. Disponível em: https://online.unisc.br/seer/index.php/cepe/article/view/9424#:~:text=Os%20resultados%20revelaram%20que%20o,centavos)%20e%20remunera%20o%20investimento.
Acesso em: 20 set. 2022.

GAVIOLI, Amanda Maria. *et al.* Viabilidade financeira para implantação de painéis fotovoltaicos em um hospital público do município de Curitiba. 2021. **Brazilian Journal of Development,** Curitiba, v.7, n.1, p.9342-9359, jan. 2021. Disponível em: https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/download/23677/19041#:~:text=0%20or%C3%A7amento%20apresentado%20mostra%20que,de%20R%24%20351.387%2C00. Acesso em: 09 set. 2022

GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2007.

IBANEZ, Solon. **Energia Fotovoltaica**: introdução e design preliminar. 3. ed. Porto Alegre. *[s.n.].* 2022. Edição Kindle.

MAGALHÄES, Luiz Claudio de Almeida. **Energia hidrelétrica**. Rio de Janeiro: Editora da FGV, 1978. Disponível em: https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rap/article/view/7476/5944. Acesso em: 19 set. 2022.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de pesquisa**: Planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa e elaboração, análise e interpretação de dados. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

MARTINS, F.R.; GUARNIERI, R.A.; PEREIRA, E.B.. O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 30, n. 1, p. 1304.1-1304. 2008. Disponível em:

https://www.scielo.br/j/rbef/a/nL6x7dJv9gjv7HnkTSJRLfS/?lang=pt&format=pdf. Acesso em: 12 set. 2022.

MOITA, Flavio. **Análise de investimentos fácil**: As 5 técnicas mais utilizadas pelos administradores financeiros. [S.l.:s.n.]. 2019. Edição Kindle.

NASSA, Thiago et al. Energia solar vai gerar mais de 147 mil empregos no Brasil em 2021, projeta ABSOLAR. 2021. Disponível em:

https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-vai-gerar-mais-de-147-mil-empregos-no-brasil-em-2021-projeta-absolar/. Acesso em: 09 set. 2022.

NUAYED, Elielzer de Souza. **Fundamentos de Sistemas Fotovoltaicos.** 1 ed., [S.l.:s.n.]. 2018. edição Kindle.

O avanço da Energia Solar no Nordeste do Brasil. **Bluesol**, 2019. Disponível em: https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-no-nordeste/. Acesso em: 30 nov. 2022.

Passo a Passo da Fabricação do Painel Solar. **PortalSolar**, 2022. Disponível em: https://www.portalsolar.com.br/painel-solar-fotovoltaico-guia-completo. Acesso em: 15 set. 2022.

PEREIRA, Ênio Bueno et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 1 ed, São José dos Campos, 2006.

PEREIRA, Reuler Cardoso. **POLÍTICAS PÚBLICAS PARA EXPANSÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**: Um estudo dos principais programas de incentivo da tecnologia no brasil. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Itumbiara, 2019. Disponível em:

https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/268/4/tcc_reuler%20pereira.pdf. Acesso em: 19 set. 2022

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel – Cresesb, 2014.

PINTO, Luiz Antonio dos Santos. **Avanços e desafios da energia solar termica**: se houver estímulo governamental, o setor de aquecimento solar, que cresceu 28% em 2021, poderá multiplicar a criação de empregos e os investimentos. Se houver estímulo governamental, o setor de aquecimento solar, que cresceu 28% em 2021, poderá multiplicar a criação de empregos e os investimentos. 2022. Disponível em: <a href="https://cenariossolar.editorabrasilenergia.com.br/avancos-e-desafios-da-energia-solar-editorabrasilenergia.com.br/avancos-e-desafios-da-energia-solar-editorabrasilenergia.com.br/avancos-e-desafios-da-energia-solar-

termica/#:~:text=O%20volume%20de%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de,%2Dse%20incremento%20de%2030%25. Acesso em: 30 nov. 2022.

RUIZ, Eduardo Tobias Neme Fernandes *et al.* **Análise de Investimento em projetos de energia solar fotovoltaica**: geração centralizada. 2. ed. Campinas: Alínea, 2021.

SANTANA, Danielle. Pernambuco suspende novas despesas e estabelece plano de contingência de gastos. **Diario de Pernambuco.** Recife, 10 fev. 2022. Disponível

em: https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/economia/2022/02/pernambuco-suspende-criacao-de-novas-despesas-e-estabelece-plano-de-co.html. Acesso em: 30 nov. 2022.

SANTOS, Gustavo Ernesto Ferreira dos. **PROJETO DE UMA CENTRAL DE CLIMATIZAÇÃO ALIMENTADA POR CÉLULAS FOTOVOLTAICAS**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017. Disponível em: http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/18758/1/GUSTAVO%20ERNESTO%20FERREIRA%20DOS%20SANTOS%20-%20TCC%20ENG.%20EL%c3%8">http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/18758/1/GUSTAVO%20ERNESTO%20FERREIRA%20DOS%20SANTOS%20-%20TCC%20ENG.%20EL%c3%8">http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/18758/1/GUSTAVO%20ERNESTO%20FERREIRA%20DOS%20SANTOS%20-%20TCC%20ENG.%20EL%c3%8">http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/18758/1/GUSTAVO%20ERNESTO%20TCC%20ENG.%20EL%c3%8

SANTOS, Isis Portolan dos. Integração de painéis solares fotovoltaicos em edificações residenciais e sua contribuição em um alimentador de energia de zona urbana mista. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: https://fotovoltaica.ufsc.br/Dissertacoes/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20final-lsis.pdf. Acesso em: 09 set. 2022.

SOUZA, Acilon Batista de. **Projetos de investimento de capital**: Elaboração, análise, tomada de decisão. São Paulo: Atlas, 2004.

The 2018 International Energy Efficiency Scorecard. **The American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE)**. Washington, DC. Jun, 2018. Disponível em: https://www.aceee.org/research-report/i1801. Acesso em: 9 set. 2022.

TOLMASQUIM. Maurício Tiomno; GUERREIRO. Amilcar; GORINI. Ricardo. **Matriz energética brasileira**: uma perspectiva**. Novos estudos**, CEBRAP, São Paulo, n. 79, 2007. Disponível em:

https://www.scielo.br/j/nec/a/HHYKXDgchzv4n4gNfRhqnwK/?lang=pt&format=pdf. Acesso em: 12 set. 2022.

VAZ, Matheus. Brasil tem a segunda energia elétrica mais cara do mundo. **Correio Braziliense**, Brasília. 22 jul. 2022. Disponivel em: https://www.correiobraziliense.com.br/brasil/2022/07/5024021-brasil-tem-a-segunda-energia-eletrica-mais-cara-do-mundo.html. Acesso em: 09 set. 2022.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica**: conceitos e aplicações. 1 ed., São Paulo: Érica, 2012.

APÊNDICE A – ARRANJO DE CONEXÕES DOS SISTEMAS

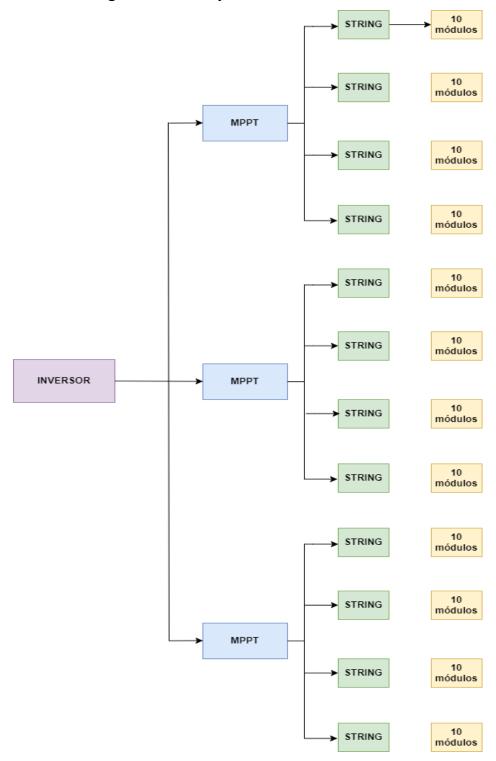


Figura 11 - Arranjo do Sistema I conectado

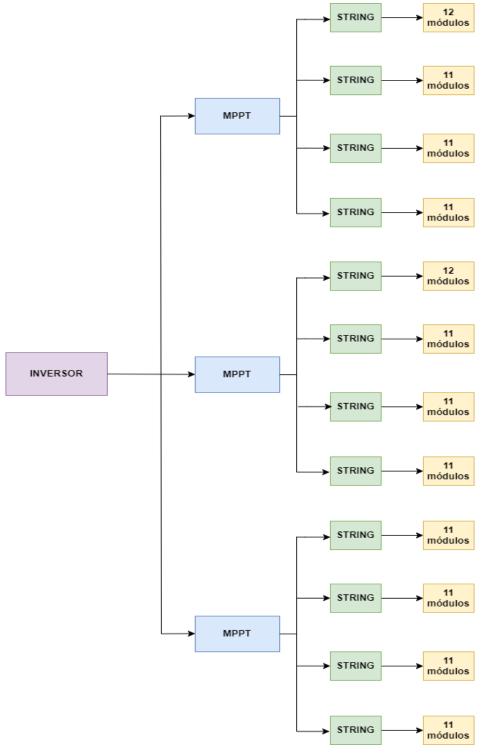


Figura 12 - Arranjo do Sistema II conectado

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

\neg	-
- /	

APÊNDICE B – TABELA USADA PARA OS CÁLCULOS NO EXCEL

Figura 13 – Tabela de cálculos no Excel do Sistema I

Ano	Investimento	Geração de Energia (kWh)	Tarifa (R\$/kWh)	Receitas	Despesas (Manut)	Fluxos de Caixa	VP	Saldo
0	-R\$ 300.000,00	112.121,68				-300.000,00	-300.000,00	-300.000,00
1	-	111.224,71	0,93	103.572,45	-1.500,00	102.072,45	89.734,02	-210.265,98
2	-	110.327,73	1,02	113.010,90	-1.500,00	111.510,90	86.181,59	-124.084,39
3	-	109.430,76	1,13	123.301,33	-1.500,00	121.801,33	82.755,68	-41.328,71
4	-	108.533,79	1,24	134.519,73	-1.500,00	133.019,73	79.453,02	38.124,32
5	-	107.636,81	1,36	146.748,79	-1.500,00	145.248,79	76.270,31	114.394,62
6	-	106.739,84	1,50	160.078,47	-1.500,00	158.578,47	73.204,17	187.598,79
7	-	105.842,87	1,65	174.606,61	-1.500,00	173.106,61	70.251,21	257.850,00
8	-	104.945,89	1,81	190.439,58	-1.500,00	188.939,58	67.408,04	325.258,04
9	-	104.048,92	2,00	207.693,08	-1.500,00	206.193,08	64.671,28	389.929,32
10	-	103.151,95	2,20	226.492,88	-1.500,00	224.992,88	62.037,56	451.966,88
11	-	102.254,97	2,42	246.975,72	-1.500,00	245.475,72	59.503,58	511.470,46
12	-	101.358,00	2,66	269.290,19	-1.500,00	267.790,19	57.066,05	568.536,51
13	-	100.461,03	2,92	293.597,80	-1.500,00	292.097,80	54.721,75	623.258,26
14	-	99.564,05	3,21	320.074,03	-1.500,00	318.574,03	52.467,54	675.725,80
15	-	98.667,08	3,54	348.909,53	-1.500,00	347.409,53	50.300,31	726.026,11
16	-	97.770,10	3,89	380.311,38	-1.500,00	378.811,38	48.217,04	774.243,15
17	-	96.873,13	4,28	414.504,52	-1.500,00	413.004,52	46.214,78	820.457,93
18	-	95.976,16	4,71	451.733,16	-1.500,00	450.233,16	44.290,66	864.748,59
19	-	95.079,18	5,18	492.262,50	-1.500,00	490.762,50	42.441,89	907.190,48
20	-	94.182,21	5,70	536.380,36	-1.500,00	534.880,36	40.665,73	947.856,20
21	-	93.285,24	6,26	584.399,17	-1.500,00	582.899,17	38.959,55	986.815,75
22	-	92.388,26	6,89	636.657,95	-1.500,00	635.157,95	37.320,79	1.024.136,54
23	-	91.491,29	7,58	693.524,48	-1.500,00	692.024,48	35.746,96	1.059.883,50
24	-	90.594,32	8,34	755.397,74	-1.500,00	753.897,74	34.235,66	1.094.119,17
25	-	89.697,34	9,17	822.710,41	-1.500,00	821.210,41	32.784,56	1.126.903,72

Taxa de Degradação	0,008	8%
Inflação Energética	0,1	10%
Manutenção	0,005	0,5%

VPL	1.126.903,72
TIR	43%
PAYBACK	3,5

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Figura 14 – Tabela de cálculos no Excel do Sistema II

Ano	Investimento	Geração de Energia (kWh)	Tarifa (R\$/kWh)	Receitas	Despesas (Manut)	Fluxos de Caixa	VP
0	-R\$ 850.000,00	301.284,21				-850.000,00	-850.000,00
1	-	298.873,94	0,93	278.311,41	-4.250,00	274.061,41	240.933,11
2	-	296.463,66	1,02	303.673,66	-4.250,00	299.423,66	231.410,63
3	-	294.053,39	1,13	331.325,24	-4.250,00	327.075,24	222.225,28
4	-	291.643,12	1,24	361.470,41	-4.250,00	357.220,41	213.368,67
5	-	289.232,84	1,36	394.331,36	-4.250,00	390.081,36	204.832,17
6	-	286.822,57	1,50	430.149,79	-4.250,00	425.899,79	196.607,01
7	-	284.412,29	1,65	469.188,59	-4.250,00	464.938,59	188.684,30
8	-	282.002,02	1,81	511.733,66	-4.250,00	507.483,66	181.055,12
9	-	279.591,75	2,00	558.095,85	-4.250,00	553.845,85	173.710,58
10	-	277.181,47	2,20	608.613,15	-4.250,00	604.363,15	166.641,79
11	-	274.771,20	2,42	663.652,95	-4.250,00	659.402,95	159.839,98
12	-	272.360,93	2,66	723.614,58	-4.250,00	719.364,58	153.296,48
13	-	269.950,65	2,92	788.932,00	-4.250,00	784.682,00	147.002,74
14	-	267.540,38	3,21	860.076,76	-4.250,00	855.826,76	140.950,36
15	-	265.130,10	3,54	937.561,15	-4.250,00	933.311,15	135.131,12
16	-	262.719,83	3,89	1.021.941,65	-4.250,00	1.017.691,65	129.536,97
17	-	260.309,56	4,28	1.113.822,65	-4.250,00	1.109.572,65	124.160,04
18	-	257.899,28	4,71	1.213.860,42	-4.250,00	1.209.610,42	118.992,67
19	-	255.489,01	5,18	1.322.767,52	-4.250,00	1.318.517,52	114.027,40
20	-	253.078,74	5,70	1.441.317,44	-4.250,00	1.437.067,44	109.256,94
21	-	250.668,46	6,26	1.570.349,67	-4.250,00	1.566.099,67	104.674,26
22	-	248.258,19	6,89	1.710.775,17	-4.250,00	1.706.525,17	100.272,49
23	-	245.847,92	7,58	1.863.582,27	-4.250,00	1.859.332,27	96.044,98
24	-	243.437,64	8,34	2.029.843,05	-4.250,00	2.025.593,05	91.985,31
25	-	241.027,37	9,17	2.210.720,15	-4.250,00	2.206.470,15	88.087,22

Taxa de Degradação	0,008	8%
Inflação Energética	0,1	10%
Manutenção	0,005	0,5%

VPL	2.982.727,61
TIR	41%
PAYBACK	3,7

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

ANEXO A – FOTOS DA PLANTA DE COBERTURA DO PRÉDIO CEDIDAS PELA DIRETORIA DO HOSPITAL

C D E F

Figura 15 – Foto do arranjo dos blocos do Prédio, cedido pela diretoria do Hospital

Fonte: Cedido pela Instituição (2022).

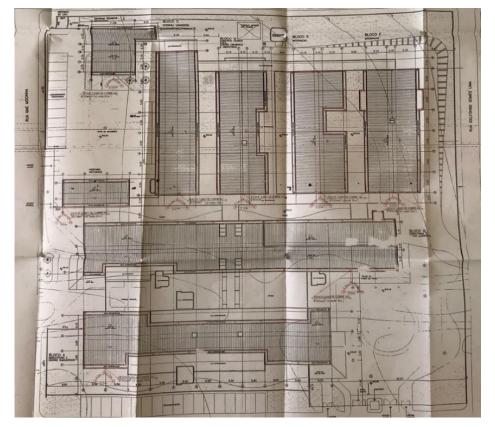


Figura 16 – Foto da planta de cobertura do prédio

Fonte: Cedido pela Instituição (2022).

ANEXO B – DATASHEETS DOS MODELOS DE MÓDULO E INVERSOR



Figura 17 - Datasheet BYD MLTK-36, a.

NOSSA ATUAÇÃO NO BRASIL

A BYD é a principal empresa fabricante de módulos fotovoltaicos no Brasil, a unidade fabril foi fundada em 2017, na cidade de Campinas, São Paulo. Com uma forte atuação em inovação e incentivo à pesquisa, a empresa vêm realizando constantes investimentos em laboratórios, maquinários, usinas experimentais e especialização e capacitação de equipes de pesquisa e desenvolvimento, engenharia, pós-vendas e suporte técnico, todas dedicadas para atender a crescente demanda do setor fotovoltaico brasileiro. A BYD acredita no potencial de transição energética do Brasil e cinco anos após a inauguração da tábrica, a empresa volta a fazer aportes significativos visando o aumento da capacidade produtiva, dando início à comercialização da nova geração de módulos fotovoltaicos, mais potentes e eficientes.

Fonte: BYD (2022).

BYD MLTK-36 BIFACIAL 520W-540W PROPRIEDADES MECÂNICAS terremento Tipo de Célula 182mm*91mm Número de Células 144 Dimensão do Módulo 2256*1133*35mm Peso 29kg ± +5% Vidro Frontal 3.2mm Vidro Temp. A.R Estrutura de Frame Alumínio Anodizado Caixa de Junção IP68 (3 Diodos) Tamanho do Cabo Furnde. 450mm (4.0mm²) Conector Compativel Conector MC4 COEFICIENTE DE TEMPERATURA Negativo (-) Poslitivo (+) Potência Pico -0.390%/°C Tensão de Circuito Aberto -0.300%/°C Corrente de Curto Circuito +0.060%/°C INFORMAÇÕES DE TRANSPORTE Tipo de Veículo Carreta 13.5m Peças por Pallet 30 Pallet por Carreta 22 Peças por Carreta 660 DADOS ELÉTRICOS (STC*) Condições de terre pedrão (SIC): insulibraia de 1800/W/m², espectro AM 1,5 e temperatura da cilida de 35°C 520 MLK-36 525 MLK-36 530 MLK-36 Tipo do Módulo 535 MLK-36 540 MLK-36 520Wp Taxa de Máx. Potência (Pmax) [W] 525Wp 580Wp 535Wp 540Wp Tensão de Circuito Aberto (Voc) [V] 48.52V 48.82V 49.12V 49.72V 49.42V Corrente de Curto Circuito (Isc) [A] 13.37A 13.41A 13.45A 13.49A 13.53A Tersão de Máx. Potência (Vmp) [V] 41.17V 41.39V 41.61V 41.83V 42.05V Corrente de Máx. Potência (Imp) [A] 12.64A 12.69A 12.74A 12.79A 12.84A Eficiencia do Módulo [%] 20.51% 20.71% 20.90% 21.10% DADOS ELÉTRICOS (NMOT*) sperata sa nominal do módulo (MMOT): insultincia de 60.0M(/mf, espectro AM 1,5 temperatura ambiente 30°C, velocidade do veeto 5m/s. 520 MLK-36 530 MLK-36 540 MLK-36 Tipo do Módulo 525 MLK-96 535 MLK-36 Potência Máx. (Pmax) [W] 392,0W 395.9W 399.5W 403.1W 406,69W Tensão de Circuito Aberto (Voc) [V] 45.70V 46.00V 46.30V 46.60V 46.86V 10.77A 10.84A Corrente de Curto Circuito (Isc) [A] 10.81A 10.87A 10.91A Tensão de Máx. Potência (Vmp) [V] 38.30V 38,50V 38.80V 39.23V 39.00V Corrente de Máx. Potência (Imp) [A] 10.24A 10.27A 10.30A 10.33A 10.36A PARÂMETROS OPERACIONAIS CURVA I-V Curva de Corrente-Tensão (535W) -40°C ~ +85°C Temperatura de Operação [°C] Temperatura de Operação da célula 45°C±2°C \$5000M/m² \$500M/m² \$500M/m² 460M/m² \$500M/m² Tensão Máx. do Sistema [V] 1500 (VDC) Corrente Máx, do Fusível (A) 25A Corrente [A] Potřecia (W) Proteção contra Incêndios Classe C 550 SESTIM 1000W/m7 535.9W Tolerancia de Potência 0-3W 450 428.5W 900W/m² Fator de Bifacialidade 70% 428.5W 350 PG. 530W 600W/m⁷ 10% 15% 20% 120.7W 120.7W Taxa de Potência Máx. (Pmax) (W) 250 557 583 610 636 663 400W/m² 353.3W 312.2W Voltagem Circuito Aberto (Voc) (V) 49.12 49.12 49.12 49.12 49.12 199W/m² 109.9W 103.9W Corrente de Curto Circuito (Isc) (A) 14.12 14.50 15.47 16.14 16.51 Tensão Máx. de Energia (Vmp) (V) 41.61 41.61 41.61 41.61 41.61 50 60 20 50 Corrente Max. de Corrente (Imp) (A) 13.37 14.01 14.65 15.26 15.92

Figura 18 - Datasheet BYD MLTK-36, b.

Fonte: BYD (2022).

5ØFAR SOFAR 50k~70kTL 50000/ 60000/ 70000 Three-Phase Three-MPPT Superlarge 4-inch LCD Fuse free design Outdoor IP65 protection level Built-in DRM port and logic Soundandlight alarm function Max efficiency up to 98.6% DC SPD Class 2, over/under voltage, over current, over temperature, island and other multiple protections @ www.s ofersolar.com In fo@sofarcolar.com SOFAR SOLAR Global

Figura 19 - Datasheet SOFAR TL 60000, a.

Fonte: SOFAR (2022).

Figura 20 - Datasheet SOFAR TL 60000, b.

Datasheet	SOFAR 50000TL	SOFAR 60000TL	SOFAR 70000TL-HV
Input (DC)			
Recommended Max. PV input power	66500Wp	79800Wp	93100Wp
Max DC power for single MPPT	22000W 16000W 16000W	22000W 22000W 22000W	2600 0W 2600 0W 2600 0W
Number of MPP trackers		3	
Number for DC inputs	4/3/3	4/4/4	4/4/4
Max. in put vol tage		1000V	
Start-up voltage		350V	
Rated input voltage	600V	600V	700V
MPPT operating voltage range		250V-950V	
Full power MPPT voltage range	530V-800V	530V-800V	660V-800V
Max. in put MPPT current	40A/30A/30A	40A/40A/40A	40A/40A/40A
Max. in put current pet string		12A	
Maximum DC input short circuit current per MPPT	48A/36A/36A	48A	48A
Output (AC)			
Rated power	50000W	60000W	70000W
Max. AC power	50000VA	60000 VA	75000VA
Max. Output current	80A	90A	90A
Nominal grid voltage	3/N/PE, 220/380Vac, 23	30/400Vac, 240/415Vac	3/N/PE or 3/PE, 277/480Vac
Grid voltage range	310 Vac-48 0 Vac (Accor	rding to local standard)	422Vac-528Vac(According to local standard
Nominal frequency		50/60Hz	
Grid Frequency range	45Hz-5	5Hz/54Hz-66Hz (According to lo	cal standard)
Active power adjustable range		0~100%	
THDi		<3%	
Power factor		>0.99 (adjustable+/-0.8)	
Performance			
Max efficiency	98.5%	98.6%	98.6%
European weighted efficiency	98.3%	98.4%	98.4%
Self-consumption at night		<iw< td=""><td></td></iw<>	
MPPT efficiency		>99.9%	

Fonte: SOFAR (2022).

ANEXO C – TRECHO DA PROPOSTA COMERCIAL DA EMPRESA CONSULTADA PARA A EXECUÇÃO DO PROJETO

Figura 21 – Orçamento do sistema para 192 kWp, excluso transformador

RESULTADOS E CAPACIDADE DE GERAÇÃO DO SISTEMA

Valor do investimento	R\$ 728.000,00	
Área necessária para instalação	960 m ²	
Economia no primeiro mês	R\$ 23.921,28	
Payback ano	3 Anos	
Economia total gerada	R\$ 27.110.814,58	
Valor presente líquido	R\$ 4.203.455,77	
Taxa interna de retorno	79.73%	
Potência do Sistema	192 Kwp	
Geração estimada diária (kwh)	836,66 kwh	
Geração estimada mensal (kwh)	25.100 kwh	
Geração estimada anual (kwh)	301.200 kwh	
Valor estimado do kwh com solar	R\$ 0,12	
Prazo máximo de instalação	90 dias	
OBS: Formas de pagamento: Financiamento, Avista 80% de entrada		

CARACTERISTICAS FINANCEIRAS

Preço do kwh ano 0	R\$ 0,91
Degradação dos painéis (%a.a.)	0,80%
Custo de manutenção (%a.a.)	0,50%
inflação projetada (%a.a.)	6%
Inflação energética projetada (%a.a.)	10%

EQUIPAMENTOS PARA INSTALAÇÃO DO SISTEMA

QUANTIDADE	DESCRIÇÃO	
359	Módulo Fotovoltaico BYD 535 W – Bifacial	
3	Inversor Sofar 60000TL	
180	PERFIL AL TF – 007 – 4700mm (Modelo Novo) P/ Suporte Sist. FV (Módulos até 600 W)	
90	Suporte P/ Telha Fibrocimento P/ 4 módulos – P/Sistema Fotovoltaico (TF007) – S/ Perfil	
1000	Cabo Solar – Proteção UV 1,8KVcc 4,0mm² - PRETO (por metro)	
1000	Cabo Solar – Proteção UV 1,8KVcc 4,0mm² - VERMELHO (por metro)	
60	CONECTOR SOLAR MC4 – PAR	
ESTRUTURA	TELHADO FIBROCIMENTO	
MODULOS	12 ANOS DE GARANTIA	
INVERSOR	05 ANOS DE GARANTIA	

Fonte: SOL+ BR. (2022).