



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA



Allan Vicente Ribeiro Azambuja

ESTUDO E PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA A
CASA DO ESTUDANTE UFGD

DOURADOS-MS

2022

Allan Vicente Ribeiro Azambuja

ESTUDO E PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA A
CASA DO ESTUDANTE UFGD

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à banca examinadora da
Faculdade de Engenharia da
Universidade Federal da Grande
Dourados para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Orlando Moreira
Júnior.

Area de Concentração: 30404010 –
Geração de Energia Elétrica

DOURADOS/MS

2022

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sistema fotovoltaico on-grid.....	6
Figura 2 - Módulo de silício monocristalino.....	9
Figura 3 - Módulo de silício policristalino.....	9
Figura 4 - Módulo de silício amorfo.....	10
Figura 5 - Inclinação da Terra.....	13
Figura 6 - Casa do Estudante da UFGD.....	16
Figura 7 – Módulo Solar 530 Wp.....	19
Figura 8 – Especificações técnicas do módulo.....	20
Figura 9 – Especificações técnicas do inversor.....	23
Figura 10 – Disposição simplificada dos módulos do sistema gerador.....	25
Figura 11 – Dispositivos de proteção do inversor.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Inclinação recomendada dos módulos.....	14
Tabela 2 – Orçamento do projeto.....	15
Tabela 3 – Estações meteorológicas próximas.....	17
Tabela 4 – Irradiação solar média em Dourados.....	17
Tabela 5 – Tarifas de energia elétrica.....	18
Tabela 6 – Consumo mensal da UC (Unidade Consumidora) em 2019.....	19
Tabela 7 – Fluxo de caixa.....	29

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Matriz Elétrica Mundial.....	1
Gráfico 2 - Matriz Elétrica Brasileira 2020.....	2
Gráfico 3 - Evolução da tecnologia fotovoltaica.....	6

Sumário

RESUMO.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. Objetivos específicos:.....	4
3. REVISÕES BIBLIOGRÁFICAS.....	5
3.1. Energia solar fotovoltaica.....	5
3.2. Sistemas fotovoltaicos conectados ao sistema integrado.....	6
3.3. Sistemas fotovoltaicos no Brasil.....	7
3.4. O módulo fotovoltaico.....	7
3.4.1. Silício cristalino.....	8
Silício monocristalino.....	8
Silício policristalino.....	9
3.4.2. Filmes finos.....	10
Silício amorfo.....	10
Disselento de cobre e índio.....	11
3.5. Inversores.....	11
3.6. Dispositivos de proteção.....	11
3.7. Orientação dos módulos solares.....	12
3.8. Normas Regulamentares.....	14
3.9. Cálculos de Investimento e Retorno Financeiro.....	14
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
4.1. Local de estudo.....	16
4.2. Irradiância.....	17
4.3. Latitude do local.....	17
4.4. Preço da Energia Elétrica.....	17
4.5. Dimensionamento.....	18
4.5.1. Determinação do módulo.....	18

4.5.2. Área de instalação.....	22
4.5.3. Escolha do inversor.....	22
4.5.4. Arranjo e disposição dos módulos.....	24
4.5.5. Dispositivos de proteção.....	26
4.6. O projeto elétrico.....	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
5.1. <i>Payback</i>	28
5.2. Fluxo de caixa.....	29
5.3. Carbono Evitado.....	30
6. CONCLUSÃO.....	32
7. BIBLIOGRAFIA.....	33
8. ANEXOS.....	39

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

A991e Azambuja, Allan Vicente Ribeiro
ESTUDO E PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA A CASA DO
ESTUDANTE UFGD [recurso eletrônico] / Allan Vicente Ribeiro Azambuja. -- 2022.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Orlando Moreira Júnior.
TCC (Graduação em Engenharia de Energia)-Universidade Federal da Grande
Dourados, 2022.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Energia solar. 2. Sistema fotovoltaico. 3. Geração distribuída. I. Moreira Júnior,
Orlando . II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS -UFGD
FACULDADE DE ENGENHARIA - FAEN-UFGD
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA (EE-FAEN-UFGD)

ANEXO G – ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 8h dia 10 de Junho de 2022, realizou-se, de forma remota, via google meet a defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Energia intitulado: ESTUDO E PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA A CASA DO ESTUDANTE UFGD, de autoria do(s) graduando(s) Allan Vicente Ribeiro Azambuja, como requisito para a aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso. Após a defesa e posterior arguição, a banca examinadora concluiu que o Trabalho de Conclusão de Curso deve ser:

Aprovado.

Reprovado.

O(s) graduando(s) declara ciência de que a sua aprovação está condicionada à entrega da versão final (encadernada, corrigida e assinada) do Trabalho de Conclusão de Curso, nos termos em que especifica o regulamento da disciplina, em anexo ao Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Energia da UFGD. O orientador se responsabilizará pela verificação e aprovação das correções do manuscrito feitas pelos graduandos para a elaboração da versão final.

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS

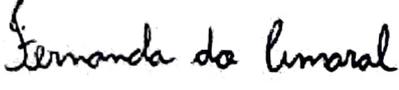
GRADUANDOS

Nome: Allan V. R. Azambuja

Nome: _____

Nome: _____

BANCA EXAMINADORA

Nome: Orlando Moreira Júnior,	Assinatura: 
Nome: Antônio Carlos Caetano de Souza	Assinatura: 
Nome: Fernanda do Amaral Baptista	Assinatura: 

RESUMO

AZAMBUJA, A. V. R. **ESTUDO E PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA A CASA DO ESTUDANTE UFGD**. 52 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados, 2022.

O presente trabalho tem como objetivo projetar e analisar a viabilidade da instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede utilizando-se do sistema de compensação de energia elétrica estabelecido no Marco Legal da Energia (Lei nº 14.300/2022). Foi feita uma análise do local pretendido para a instalação do sistema (a moradia estudantil da UFGD) para obter os dados necessários para a elaboração do projeto. Com a ajuda do programa SunData 3.0 desenvolvido pela CRESESB, foram obtidos os dados de irradiância. Foram consideradas as devidas perdas ao longo do caminho da energia solar, desde o módulo até ao seu aproveitamento. Foi realizada uma análise econômica do sistema para verificar sua viabilidade e o tempo de retorno do investimento inicial considerando o impacto da depreciação dos módulos solares na geração de energia. O resultado da simulação foi um sistema de 47,7 kWp, formado por 90 módulos solares que geram pelo menos 4728 kWh por mês. O payback foi de 5 anos e 8 meses, e o sistema evitaria a emissão de 487 toneladas de carbono, equivalente a 3477 árvores plantadas.

Palavras-chave: Energia solar, Sistema fotovoltaico, Geração distribuída.

ABSTRACT

AZAMBUJA, A. V. R. **STUDY AND DESIGN OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR CASA DO ESTUDANTE UFGD**. 52 p. Undergraduate Thesis (Course Completion Work) – Faculty of Engineering, Federal University of Grande Dourados, 2022.

The present work aims to design and analyze the feasibility of installing a photovoltaic system connected to the grid using the electricity compensation system established in the Legal Framework for Energy (Law nº 14.300/2022). An analysis was made of the intended location for the installation of the system (the UFGD student housing) to obtain the necessary data for the elaboration of the project. With the help of SunData 3.0 program developed by CRESESB, the irradiance data will be achieved. Appropriate losses along the path of solar energy were considered, from the module to its use. An economic analysis of the system was carried out to verify its viability and the payback time of the initial investment considering the impact of the depreciation of solar modules on energy generation. The result of the simulation was a 47.7 kWp system, made up of 90 solar modules that generate at least 4728 kWh per month. The payback was 5 years and 8 months, and the system would avoid the emission of 487 tons of carbon, equivalent to 3477 trees planted.

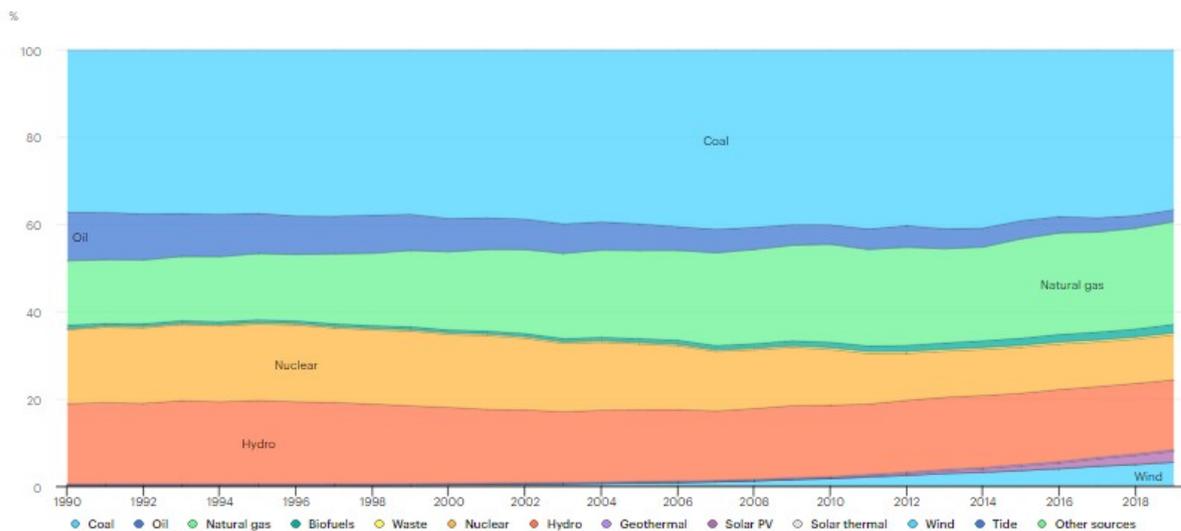
Keywords: Solar energy, Photovoltaic system, Distributed generation.

1. INTRODUÇÃO

Energia é essencial e sua disponibilidade está diretamente relacionada ao desenvolvimento de um país. Segundo Moreira (2021) durante a crise do petróleo nos anos 70 quando se percebeu que o recurso não era renovável, o mundo todo passou por dificuldades econômicas com o aumento no preço do petróleo (cerca de 400%). Isso levou à discussão sobre como lidar com a situação caso os recursos não renováveis se esgotem e antes da virada do milênio já havia ficado claro que era necessário buscar uma fonte com quantidade, qualidade e disponibilidade necessárias para substituir as fontes tradicionais.

A produção de eletricidade no mundo ainda é majoritariamente não renovável como se nota no gráfico 1.

Gráfico 1 - Matriz Elétrica Mundial

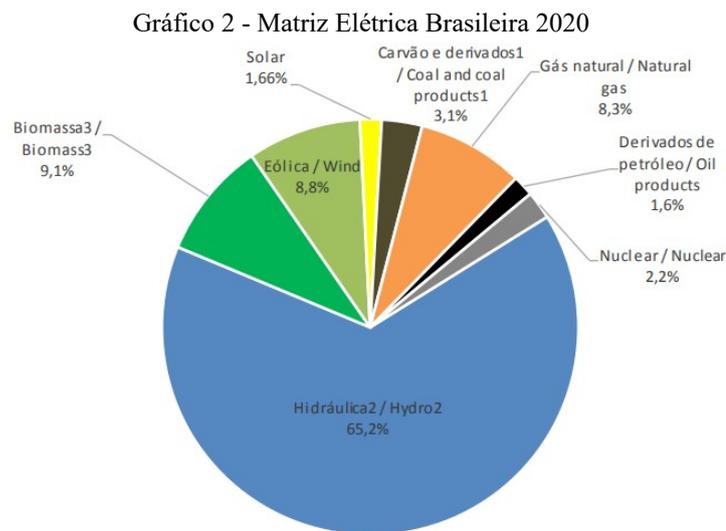


Fonte: IEA (2022)

No ramo energético como um todo, as expectativas são ruins. Segundo a companhia de petróleo britânica BP em 2021 estimava-se que 53,5% do petróleo mundial já havia sido explorado e restavam cerca de 1,73 trilhão de barris nas reservas, o que totaliza em torno de 50 anos da produção atual. O recurso tende a se esgotar.

Moreira (2021) diz que o fator ambiental também é importante. Nos últimos anos a preocupação com o meio ambiente vem se tornando cada vez maior devido ao aquecimento global, e apesar de alguns governos ainda possuírem uma visão conservadora sobre o assunto, as energias renováveis vêm se tornando cada vez mais uma necessidade.

No Brasil, segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) em 2021 a geração de energia elétrica é predominantemente hidráulica, seguida da térmica e eólica como apresentado no gráfico 2. O Portal Solar (2022) afirma que, apesar disso, a fonte de energia renovável com maior potencial de crescimento no Brasil é a solar, principalmente por abrir a oportunidade para o morador comum produzir a sua própria energia.



Fonte: EPE (2021)

O potencial de energia solar no Brasil é superior à países como a Alemanha, que é um dos líderes mundiais em geração fotovoltaica. Segundo o Global Solar Atlas (GSA) em 2022 a região mais ensolarada da Alemanha (3,24 kWh/m²) recebe um índice de radiação solar 48% menor que o índice da região mais ensolarada do Brasil (6,22 kWh/m²) e mesmo assim é um dos líderes mundiais no ramo. Apesar dos inúmeros avanços da tecnologia no nosso país, há um potencial ainda a ser explorado.

A eficiência dos módulos só vem aumentando ao longo dos anos. Segundo a PV Magazine (2020) cientistas da *U.S. Department of Energy's National Renewable*

Energy Laboratory (NREL) conseguiram produzir uma célula capaz de converter 47,1% da luz solar incidida em eletricidade. As células de silício com maior eficiência no Brasil são as da Canadian Solar (2022) e apresentam valores por volta dos 21,4%.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) implantou em 2012 o sistema de compensação de energia elétrica no Brasil também conhecido como sistemas de créditos que possibilita que o consumidor injete energia no sistema integrado e receba o valor injetado em créditos que ficam no Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) da pessoa/instituição. Esses créditos podem ser utilizados em qualquer unidade consumidora associada ao mesmo CPF/CNPJ e são válidos por cinco anos.

2. OBJETIVOS

Desenvolver o projeto de um sistema gerador de energia elétrica para abastecer em sua totalidade a demanda energética da Casa do Estudante da UFGD utilizando o recurso solar, além de comprovar a viabilidade econômica e ambiental de um sistema como este.

2.1. Objetivos específicos:

- a)** Encontrar a economia necessária para atender a demanda energética da edificação em estudo.
- b)** Fazer uma pesquisa de mercado para encontrar os equipamentos mais adequados para o projeto.
- c)** Dimensionar o sistema calculando a quantidade de módulos e inversores bem como suas especificações técnicas.
- d)** Fazer uma simulação da disposição do sistema no local escolhido para a instalação.
- e)** Fazer uma análise financeira para descobrir se o sistema é economicamente viável e determinar o tempo de retorno do investimento inicial.

3. REVISÕES BIBLIOGRÁFICAS

Neste capítulo é feita uma breve fundamentação teórica para a melhor compreensão dos assuntos abordados no projeto.

3.1. Energia solar fotovoltaica

No Atlas de Energia Elétrica do Brasil a ANEEL (2002), é afirmado que, apesar de o termo Energia Solar ser utilizado principalmente para se referir a energia solar fotovoltaica e a energia solar térmica, quase todas as fontes de energia (hidráulica, biomassa, eólica, fóssil e dos mares) são também formas indiretas da energia solar.

Segundo Ely e Swart (2014 apud GREEN, 2003) e Pan (2021 apud GREEN, 2003) a energia solar fotovoltaica é obtida pela conversão da luz direta provida do Sol em eletricidade. Até a 2022 existem três gerações da tecnologia empregada nesse recurso.

- A primeira é a que representa 90% do mercado devido a sua viabilidade e consiste em duas cadeias produtivas: silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si).
- A segunda geração é conhecida por filmes finos, e são três cadeias produtivas: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS) ou disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe). Possui diversas desvantagens como baixo rendimento de células e toxicidade (cádmio) o que dificulta sua difusão.
- A terceira, e até 2022, última geração também é dividida em três cadeias produtivas: célula fotovoltaica multijunção e célula fotovoltaica para concentração (CPV), células sensibilizadas por corante (DSSC) e células orgânicas ou poliméricas. O gráfico 3 mostra a evolução das células fotovoltaicas e módulos solares de 1975 a 2021, mostrando a melhora da eficiência ao longo dos anos. O gráfico 3 também se encontrará em anexo para melhor visualização. A pesquisa foi feita pelo laboratório da NREL ao longo dos anos.

Pinho e Galdino (2014) citam no Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos que o funcionamento de um sistema fotovoltaico se dá inicialmente pela radiação solar incidida nas placas solares que realizam a conversão direta em energia solar fotovoltaica. Desta forma, a energia gerada em corrente contínua passa pelo inversor que converte a corrente contínua em corrente alternada e também controla a corrente injetada na rede bem como sua frequência. É muito importante que a frequência da energia injetada esteja sincronizada com a rede. Desta forma, o medidor bidirecional registra se o local onde foi instalado o sistema fotovoltaico utilizou toda a eletricidade gerada e a eletricidade conduzida em ambas as direções. Caso haja excedente o mesmo será devidamente registrado pelo medidor. O trabalho dos dispositivos de proteção é evitar sobrecorrente e sobrecarga.

3.3. Sistemas fotovoltaicos no Brasil

No Brasil, de acordo com a lei nº 14.300 (2022) existe o sistema de créditos ou Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Esse sistema permite que a energia excedente gerada pela unidade consumidora com micro ou minigeração seja injetada na rede distribuidora, a qual funcionará como uma bateria armazenando esse excedente. Essa energia excedente é compensada em forma de créditos que podem ser utilizados para abater o consumo em outra unidade consumidora. Esses créditos continuam válidos por 60 meses.

Segundo o Portal Solar em 2020, por volta de 75% dos sistemas fotovoltaicos no Brasil são sistemas residenciais com potências e tamanhos muito variados entre si. Outros 25% são sistemas comerciais ou industriais.

A ABSOLAR (2022) afirma que existem 15.310 MW em capacidade instalada apenas entre geração distribuída e geração centralizada, ambas modalidades da geração solar.

3.4. O módulo fotovoltaico

De acordo com Villalva e Gazoli (2012) o interesse por fontes alternativas e que impactam menos o meio ambiente, motiva o longo processo de pesquisa e

desenvolvimento de células fotovoltaicas mais eficientes e baratas. O primeiro material semicondutor utilizado na fabricação das células foi o silício. É até hoje o material com mais participação no mercado por possuir a tecnologia mais consolidada e principalmente por ser barato e abundante.

Ramanujam et al. (2020) avalia que, além do silício ainda existem diversos materiais menos convencionais, mas que vem recebendo atenção no mundo todo e progresso em seu estudo como o telureto de cádmio (CdTe) e o cobre-índio-gálio-selênio (CIGS).

3.4.1. Silício cristalino

De acordo com o Fraunhofer-Gesellschaft (2022) as tecnologias do silício cristalino corresponderam a 94,9% do mercado mundial em 2020. Segundo Pinho e Galdino (2014) é utilizado o silício ultrapuro que recebe esse nome por ter altíssimo grau de pureza, acima de 99,9999%, em sua fabricação.

Silício monocristalino

O Fraunhofer-Gesellschaft (2022) afirma que painéis solares feitos com esse material tem eficiência máxima de 26,7%. Pinho e Galdino (2014) afirmam que são formadas por uma estrutura cristalina homogênea e única ao longo de todo o corpo do material. Na figura 2 podemos ver o produto final, a célula fotovoltaica monocristalina.

Figura 2 - Módulo de silício monocristalino



Fonte: BOSCH (2011)

Essas células são geralmente de cor azul escura ou pretas mas sempre de forma uniforme. Tem custo alto de produção, são frágeis e quebradiças além de alta taxa de perdas de materiais na sua produção segundo a Aldo (2022).

Silício policristalino

A Aldo (2022) afirma que a tecnologia é a mais comum no mercado apresentando menor custo e custo de produção do que as provindas do silício monocristalino. Também chamados de módulos polissilicos, são feitos através de células cortadas de cristais de silício multifacetados não uniformes, e possuem aparência de vidro estilhaçado como podemos ver na figura 3.

Figura 3 - Módulo de silício policristalino



Fonte: 123RF (2018)

Possuem eficiência máxima de 24,4% segundo o Fraunhofer-Gesellschaft (2022), o que é mais baixo às monocristalinas, mas sua fabricação é mais barata o que garante o potencial comercial.

3.4.2. Filmes finos

Pinho e Galdino (2014) descrevem essa que é uma tecnologia mais recente, que surgiu depois do silício se consolidar no mercado. São construídos depositando camadas extremamente finas de materiais fotossensíveis sobre suportes de baixo custo, rígidas ou flexíveis o que faz com que os custos de produção sejam reduzidos em relação aos cristalinos. Os materiais utilizados são o silício amorfo (a-Si), o disseleneto de cobre-índio (CIS, CIGS) e o telureto de cádmio (CdTe).

Silício amorfo

Segundo Villalva e Gazoli(2012) foi a primeira tecnologia de filmes finos desenvolvida. Tem eficiência muito baixa, de 5% a 8%, e essa eficiência diminui nos primeiros 6 a 12 meses de funcionamento pela degradação que ocorre devido à exposição à luz. Um exemplo de sua aplicação comercial ocorre nas calculadoras eletrônicas portáteis, conforme na figura 4.

Figura 4 - Módulo de silício amorfo



Fonte: SOLAVISTA (2022)

Disselento de cobre e índio

De acordo com o Fraunhofer-Gesellschaft (2022) essa tecnologia tem rendimento máximo de 23,4%, mas sofre com o problema da falta de matéria prima. Segundo a PV Magazine (2022), atualmente 9% da demanda de índio vem da produção de células fotovoltaicas, mas até 2050 apenas o ramo solar será responsável pelo dobro da demanda total atual de índio.

Ramanujam et al. (2020) afirma que, no geral, as tecnologias de filmes finos flexíveis estão ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento. Futuramente podemos ver essas tecnologias mais introduzidas e consolidadas no mercado.

3.5. Inversores

Segundo Villalva e Gazoli (2012) inversores são dispositivos que convertem energia elétrica em corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). A ampla maioria dos equipamentos elétricos faz uso de energia em corrente alternada, portanto se faz a necessidade da conversão visto, que os módulos solares fornecem apenas corrente contínua. Os inversores para conexão com a rede elétrica integrada são chamados de inversores *Grid-Tie* e sua tensão de saída deve ser sincronizada com a tensão da rede. Os inversores possuem vários recursos necessários para o aproveitamento da energia fotovoltaica e a segurança da conexão com a rede. Dentre eles: sistema de controle de corrente, detecção de ilhamento, sistema de sincronismo e particularmente o sistema de MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) que é uma função que está presente em todos os tipos de inversores *grid-tie* do mercado. Ele garante que o sistema funcione instantaneamente no seu ponto de máxima potência independente de variáveis como irradiação e temperatura das placas.

3.6. Dispositivos de proteção

De acordo com Pinho e Galdino (2014) os dispositivos de proteção consistem em chaves seccionadoras, disjuntores, fusíveis e DPS. Disjuntores e fusíveis servem para proteger os cabos e equipamentos no caso de sobrecorrente causados por

falha no aterramento ou curto-circuito. A chave seccionadora serve como meio de interrupção do fluxo de corrente em situações de emergência. O DPS (Dispositivo de Proteção Contra Surtos) serve para desviar a corrente provinda de um surto (descarga atmosférica como exemplo) para a terra e limitar as sobretensões transientes.

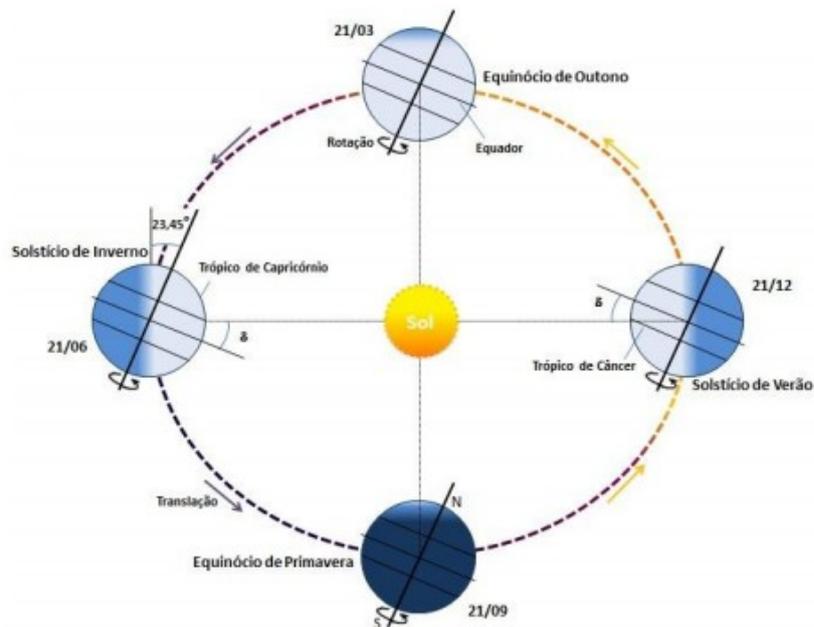
3.7. Orientação dos módulos solares

A orientação dos módulos solares depende da irradiância solar. Segundo a CRESESB (2022) a irradiância solar é a quantidade de energia incidente por unidade de superfície em um determinado plano durante um período de tempo, podendo este ser uma hora ou um dia. É empregada para quantificar a radiação solar e expressa na unidade de W/m^2 .

Segundo Villalva e Gazoli (2012), período orbital da Terra em torno do Sol dura 365 dias e 6 horas. Já o período de rotação (em que a Terra gira em torno de si mesma) é de 24 horas. O eixo de rotação da Terra é ligeiramente inclinado num ângulo de aproximadamente $23,5^\circ$. Essa inclinação faz com que os hemisférios norte e sul fiquem inclinados em direção ao sol ou não. Esse efeito se mostra bem mais concreto conforme nos afastamos da linha do Equador. Os dias se tornam mais longos no verão e mais curtos no inverno.

A figura 5 ilustra a órbita da Terra com sua inclinação.

Figura 5 - Inclinação da Terra



Fonte: Pinho e Galdino (2014)

O ângulo dos raios solares com relação ao plano do Equador é chamado de declinação solar. Esse ângulo varia de acordo com o dia do ano devido a posição do Sol e a inclinação da órbita da Terra.

A fórmula para calcular a declinação solar segue na equação 1:

$$\text{sen}(\delta) = -\text{sen}(23,45) \cos\left[\left(\frac{360}{365,25}\right)(n+10)\right] \quad (1)$$

Onde n representa o dia do ano de 1 a 365 a partir de primeiro dia de Janeiro.

Devido a essa inclinação, o módulo solar não deve ser posicionado diretamente para cima, pois isso acarretaria em um menor aproveitamento de grande parte dos raios solares. Deve-se encontrar o ângulo ideal para compensar a inclinação natural do Sol. De acordo com Pinho e Galdino (2014) para gerar o máximo possível, ao longo do ano, o ângulo de inclinação dos módulos deve ser igual à latitude do local, mas variações para mais ou para menos em até 10° não oferecem significativa redução no seu desempenho anual.

A tabela 1 nos fornece dados com valores recomendados pela BOSCH (2022) para o ângulo de inclinação.

Tabela 1 – Inclinação recomendada dos módulos

Latitude geográfica do local	Ângulo de inclinação recomendado
0° a 10°	$\alpha = 10^\circ$
11° a 20°	$\alpha = \text{latitude}$
21° a 30°	$\alpha = \text{latitude} + 5^\circ$
31° a 40°	$\alpha = \text{latitude} + 10^\circ$
41° ou mais	$\alpha = \text{latitude} + 15^\circ$

Fonte: BOSCH (2022)

3.8. Normas Regulamentares

De acordo com a lei nº 14.300 (2022) foi instituído o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). Foi estabelecido que a energia injetada no sistema será subtraída da fatura de energia do consumidor. Caso haja excedente, o consumidor acumulará créditos energéticos que poderão ser utilizados na compensação do consumo em qualquer unidade consumidora que esteja na mesma titularidade da unidade geradora. O prazo de validade dos créditos é de 60 meses.

3.9. Cálculos de Investimento e Retorno Financeiro

O projeto em estudo é um investimento. E como todo investimento, sua viabilidade financeira deverá ser confirmada antes da sua realização. Como fatores indicadores da viabilidade econômica do sistema gerador fotovoltaico serão utilizados *Payback Simples* e *Fluxo de Caixa*. Como indicador ecológico equivalente de sustentabilidade será utilizado Carbono Evitado e Árvores Plantadas.

A tabela 2 nos mostra o levantamento dos equipamentos necessários para o sistema bem como valores de mercado no momento em que este trabalho foi elaborado. Não será levado em consideração o custo de mão de obra do serviço de instalação do sistema.

Tabela 2 – Orçamento do projeto

Produto	Quantidade	Preço unit. (R\$)	Preço total (R\$)
Painel solar JINKO 530 Wp	90	1.838,00	165.420,00
Inversor GROWATT 60 kW	1	23.859,00	23.859,00
Conector MC4 fêmea	30	4,20	126,00
Conector MC4 macho	30	4,20	126,00
Cabo solar preto	300	7,90	2.370,00
Cabo solar vermelho	300	7,90	2.370,00
Estrutura solar fotovoltaico perfil alumínio	23	329,00	7.567,00
Estrutura solar kit fixação fibrocimento	23	729,00	16.767,00
Total			R\$ 218.605,00

Fonte: Autor (2022)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é trabalhado o desenvolvimento do projeto, fatores físicos como a localização, inclinação e irradiância na região bem como fatores financeiros como o preço da energia elétrica.

4.1. Local de estudo

O sistema Fotovoltaico de geração de energia elétrica será instalado nos telhados da Casa do Estudante da UFGD localizada na R. João Ayres da Silva, 100 – Altos do Indaiá, Dourados – MS conforme apresentado na figura 6. O local não possui área externa utilizável portanto o sistema terá que ser instalado no telhado da edificação que é coberto por telhas de fibrocimento. O objetivo será cobrir as necessidades energéticas do local em sua totalidade.

Figura 6 - Casa do Estudante da UFGD



Fonte: Google Maps (2022)

Antes do dimensionamento do projeto foi realizada uma visita técnica ao local de estudo para detalhamento da superfície de instalação, verificação de existência de sombreamento e obstáculos como árvores ou casas e prédios vizinhos.

4.2. Irradiância

A irradiância depende apenas da localização e de fatores externos que influenciam em sombreamento como poluição e chuvas. Na base de dados da CRESESB (2022) na cidade de Dourados a estação meteorológica mais próxima do local de instalação fica a 2,3 km como podemos ver na tabela 3, o que nos fornece dados de irradiação precisos apresentados na tabela 4. O delta representa a variação entre o pior e o melhor dia irradiante.

Tabela 3 – Estações meteorológicas próximas

Estação	Distância até o local de estudo
Dourados 1	2,3 km
Dourados 2	9,0 km
Dourados 3	9,8 km

Fonte: SunData 3.0 – CRESESB (2022)

Tabela 4 – Irradiação solar média em Dourados

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar média mensal [kWh/m ² .dia]	
		Média	Delta
Plano horizontal	0° N	4,90	3,04
Ângulo igual à latitude	22° N	5,09	1,41
Maior média anual	19° N	5,09	1,64
Maior mínimo mensal	38° N	4,90	0,80

Fonte: SunData 3.0 – CRESESB (2022)

4.3. Latitude do local

A latitude do local de estudo pode ser obtida através da ferramenta de mapas do Google, o Google Maps (2022). O valor obtido é de 22,22° S.

4.4. Preço da Energia Elétrica

As tarifas utilizadas foram retiradas diretamente da fatura de energia de Janeiro de 2022 conforme a Tabela 5. O contrato com a ENERGISA (2022) diferencia consumo em ponta e fora de ponta. Sugere-se o preço médio da energia

elétrica, e segundo Cavalcante Neto (2018) este valor pode ser calculado através da equação 2:

$$\text{Preço Médio} = \frac{\text{Fatura (R\$)}}{\text{Consumo de Energia (kW h)}} \quad (2)$$

$$\text{Preço Médio} = \frac{2556,58}{3690} = 0,692840 \text{ R\$ / kW h}$$

Logo, temos que o preço médio é de cerca de 0,69 R\$/kWh.

Tabela 5 – Tarifas de energia elétrica

Modalidade	Consumo (kWh)	Tarifa com tributos (R\$/kWh)	Valor pago (R\$)
Ponta	410	2,759490	1131,39
Fora da Ponta	3280	0,434510	1425,19

Fonte: Autor (2022)

Rossi (2017) afirma que o sistema de compensação de energia trabalha com créditos energéticos, que não são valores monetários. O valor desses créditos vai depender da tarifa vigente até então. Quanto maior a tarifa da energia elétrica menor o tempo de retorno do investimento.

4.5. Dimensionamento

Para o dimensionamento do projeto é necessário determinar a especificação do módulo e suas características, inversor, dispositivos de proteção, bem como a disposição do sistema.

4.5.1. Determinação do módulo

Para a escolha do módulo deve-se considerar o consumo médio da unidade consumidora que deverá ser suprido total ou parcialmente pelo conjunto gerador de energia.

Devido a pandemia de COVID19 que se iniciou no início de 2020 no Brasil, a Casa do Estudante teve ocupação mínima durante esse período, o que afetou diretamente o consumo da unidade. Sendo assim, foram utilizados valores de

consumo no período do ano de 2019, período este em que a edificação se encontrava em pleno uso. Na tabela 6 pode-se ver o consumo mensal em kWh da Casa do Estudante entre 1º de Janeiro à 31 de Dezembro de 2019.

Tabela 6 – Consumo mensal da UC (Unidade Consumidora) em 2019

Mês	Consumo (kWh)
Janeiro	4660
Fevereiro	4937
Março	4991
Abril	5175
Maio	5284
Junho	4126
Julho	4135
Agosto	3412
Setembro	4571
Outubro	4723
Novembro	5422
Dezembro	5304
Média	4728

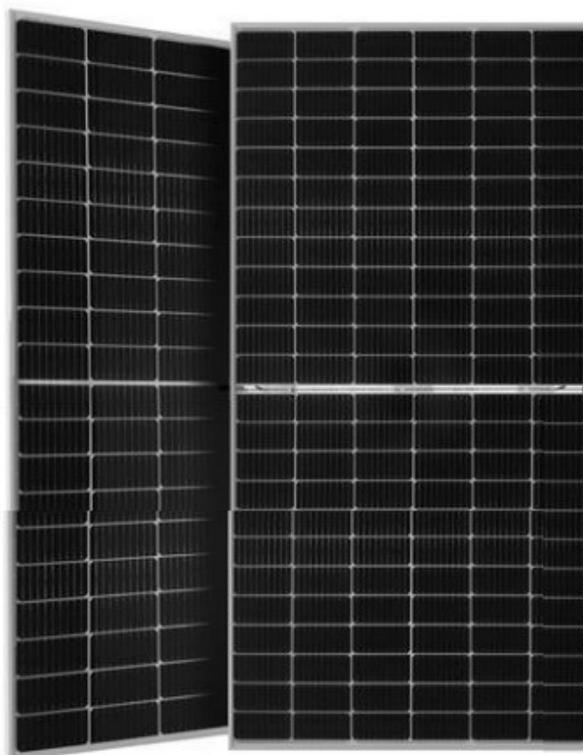
Fonte: Autor (2022)

A demanda a ser suprida pelo sistema é de 4728 kWh/mês, em média.

Para determinar o número de módulos a serem utilizados, deve-se levar em consideração vários fatores, como as especificações técnicas do módulo a ser escolhido bem como as dimensões do telhado onde o sistema fotovoltaico (FV) vai ser instalado e a irradiação no local. Como é necessário a informação da potência dos módulos, foi realizada uma pesquisa de mercado para encontrar o módulo mais adequado para a realização do projeto. Os critérios utilizados foram a disponibilidade de mercado, além de sua consolidação e preço.

A Canadian Solar (2020) lançou recentemente módulos de até 665 Wp com eficiência de até 21,4% mas estes ainda não estão bem consolidados devido a alta corrente gerada pelos painéis. Essa corrente é muito alta para os inversores mais comuns encontrados no mercado. Foi escolhido o módulo da fabricante JINKO Solar, modelo JKM530M-72HL4-TV (Figura 7) de 72 células, tecnologia bifacial, 2,274 m x 1,086 m e potência de pico de 530 Wp.

Figura 7 – Módulo Solar 530 Wp



Fonte: JINKO (2022)

As principais características técnicas do módulo se encontram na Figura 7.

Figura 8 – Especificações técnicas do módulo

SPECIFICATIONS		
Module Type	JKM530M-72HL4-TV	
	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	530Wp	394Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	40.71V	37.88V
Maximum Power Current (Imp)	13.02A	10.41A
Open-circuit Voltage (Voc)	49.35V	46.58V
Short-circuit Current (Isc)	13.71A	11.07A
Module Efficiency STC (%)	20.52%	

Fonte: JINKO (2022)

A radiação solar média no local da instalação foi obtida através do SunData 3.0 disponível no site do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB, 2022) e pode ser consultada na tabela 4. Os valores obtidos para o plano inclinado e horizontal foram de respectivamente: 5,09 kWh/m²/dia e 4,9 kWh/m²/dia.

Para calcular a energia produzida por painel, tomaremos como base a irradiação, a área do módulo e a sua eficiência, utilizando a equação 3 (COSTA, 2010):

$$E_p = G_M \times A \times e \quad (3)$$

Onde:

E_p : Energia Produzida [kW];

G_M : Geração por Módulo [kWh/m²/dia];

A : Área do Módulo [m²];

e : eficiência do Módulo.

Logo:

$$E_p = 4,9 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia} \times 2,274 \text{ m} \times 1,086 \text{ m} \times 0,206 \times 0,98 = 2,4 \text{ kWh/dia}$$

O que nos mostra que cada módulo produzirá 2,49 kWh em um dia, ou aproximadamente 72 kW em um mês

O número de módulos necessários pode ser calculado utilizando a equação 4 (Autor, 2022):

$$N_p = \frac{E_d}{E_p} \quad (4)$$

Onde:

N_p : Número de módulos;

E_d : Energia demandada mensalmente [kWh/mês];

E_p : Energia produzida por modulo por mês [kW/mês].

Logo:

$$N_p = \frac{E_d}{E_p} = \frac{4728 \text{ kWh}}{74 \text{ kWh}} = 63,22$$

Será feito um superdimensionamento de 40% em relação ao número de módulos necessários, prevendo aumento de consumo pós-instalação e aumento de carga instalada no futuro. Desta forma, serão necessários aproximadamente 90 painéis para suprir a demanda da Casa do Estudante.

4.5.2. Área de instalação

A área de instalação pode ser calculada de acordo com a equação 5 (Autor, 2022) que utiliza o número de módulos a ser instalado e a área dos mesmos. Foi acrescentado 5 cm na lateral de cada módulo para a instalação da estrutura que ocupa este espaço.

$$\text{Área de instalação} = A \times N_p \quad (5)$$

Onde:

A = área do módulo [m²];

N_p = Número de módulos.

Logo:

$$\text{Área de instalação} = 2,274 \text{ m} \times 1,136 \text{ m} \times 90 = 232,49 \text{ m}^2$$

4.5.3. Escolha do inversor

O inversor deve ter potência nominal igual ou maior a capacidade total do sistema, calculada através da equação 6 (Autor, 2022). Utilizamos o número de painéis e sua potência pico.

$$P_t = P_{(max,p)} \times N_p \quad (6)$$

Onde:

P_t : Potência total do sistema [W];

$P_{\max,p}$: Potência máxima por módulo [Wp];

N_p : Número de módulos.

Logo:

$$P_t = 530 \text{ W} \times 90 = 47700 \text{ W} = 47,7 \text{ kW}$$

Escolheu-se o modelo MAC60KTL3-X LV que possui 60kW de potência nominal, possibilitando assim ampliação do sistema no futuro e garantindo que o inversor não seja subdimensionado, o que pode causar o efeito *clipping*, que segundo Souza (2019), é o evento no qual os painéis produzem uma potência maior do que o inversor pode suportar, e o excesso de potência é simplesmente desperdiçado.

O inversor escolhido possui proteção Tipo II tanto para o lado corrente alternada quanto para o lado corrente contínua, o que dispensa a utilização de DPS além de possuir arrefecimento do ar e vários métodos de monitoramento. É indicado para sistemas *on-grid*. Na Figura 9 pode-se verificar as especificações do inversor.

Figura 9 – Especificações técnicas do inversor

Ficha de dados MAC 60KTL3-X LV	
Dados de entrada	
Máx, potência CC	90000W
Máxima tensão de CC	1100V
Tensão de partida	250V
Tensão nominal	600V
Faixa de tensão FV	200V-1000V
Tensão CC de carga total	600V-850V
Máx, corrente de entrada por MPPT	50A/50A/50A
Número de MPPT independentes / strings por MPPT	3/4+4+4
Dados de saída (CA)	
Potência nominal de saída CA	60000W
Potência aparente máxima de CA	66600VA
Tensão nominal de saída	220V/380V
Frequência de rede CA	50/60 Hz
Corrente máxima de saída	96,6A
Fator de potência	0,8i-0,8c
THDi	<3%
Tipo de conexão da rede CA	3W+N+PE

Fonte: GROWATT (2022)

4.5.4. Arranjo e disposição dos módulos

Como podemos verificar no *datasheet* do inversor na Figura 9 este possui 3 MPPTs com a possibilidade de instalação de 4 *strings* em cada MPPT.

Isso nos permite um arranjo simples com 6 *strings* com 15 módulos cada, com 2 *strings* em cada MPPT. Isso nos dá um balançamento perfeito entre as MPPTs em condições ideais. De acordo com Villava e de Paula (2019) as *strings* devem conter a mesma quantidade de módulos e mesma orientação em um mesmo MPPT .

O inversor possui faixa de tensão de 200 V a 1000 V. Isso diz, que cada *string* precisa estar com uma tensão acima de 200 V e abaixo de 1000 V para que o inversor funcione. A tensão dos módulos se soma quando estão em série mas se mantem quando estão em paralelo. Como cada *string* possui um certo número de módulos em série, sua tensão será somada. Isso pode ser verificado através da equação 7 (STEIGLEDER, 2006) que utiliza o número de módulos em uma *string* e

sua tensão máxima de energia (V_{mp} , valor obtido através das especificações técnicas do módulo solar) para calcular a tensão que o inversor terá que suportar.

$$T_s = N_p \times V_{mp} \quad (7)$$

Onde:

T_s : Tensão da *string* [V];

N_p : Número de módulos;

V_{mp} : Tensão na potência máxima [V].

Logo:

$$T_s = 15 \times 40,71 \text{ V} = 610,65 \text{ V}$$

A tensão de cada *string* está dentro da faixa de operação do inversor.

O inversor suporta até 50A em cada MPPT. Como haverá 2 *strings* por MPPT a corrente será somada, pois correntes em paralelo se somam enquanto correntes em série se mantêm. Utilizando a equação 8 (STEIGLEDER, 2006) para obter a corrente de entrada por MPPT com os dados de corrente de potência máxima obtidos na *datasheet* dos módulos, teremos:

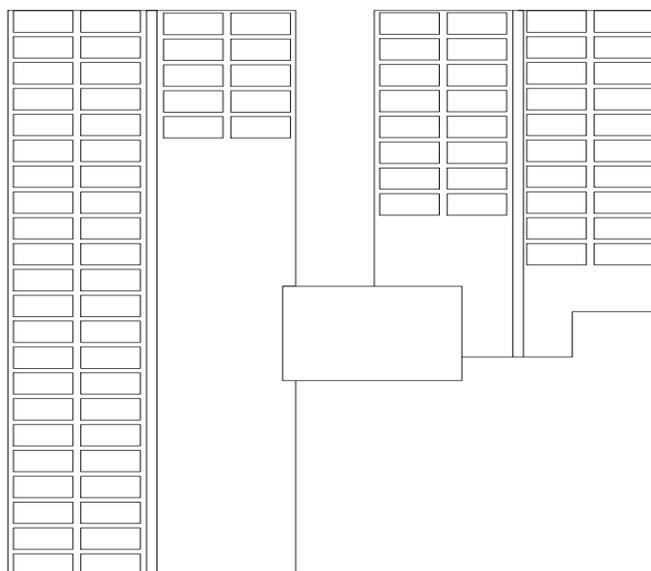
$$I_{mp} = 13,02 \text{ A} + 13,02 \text{ A} = 26,04 \text{ A} \quad (8)$$

Essa corrente ocorrerá nos 3 MPPTs pois o número de módulos é o mesmo em todas as *strings*.

A corrente de entrada em cada MPPT está abaixo da corrente máxima de entrada.

Uma disposição simplificada sugerida dos módulos pode ser vista na figura 10:

Figura 10 – Disposição simplificada dos módulos do sistema gerador



Fonte: Autor (2022)

Dados mais detalhados da planta como inclinação do telhado e árvores podem ser encontrados no anexo A.

4.5.5. Dispositivos de proteção

Os dispositivos de proteção estão embutidos no inversor visto na Figura 11 que como já foi dito dispensa o uso de DPS.

Figura 11 – Dispositivos de proteção do inversor

Dispositivos de proteção	
Proteção de polaridade reversa de CC	sim
Interruptor CC	sim
Proteção de sobretensão CC	Tipo II
Monitoramento de falta à terra	sim
Proteção contra curto-circuito de saída	sim
Proteção de sobretensão CA	Tipo II

Fonte: GROWATT (2022)

4.6. O projeto elétrico

O projeto elétrico em diagrama unifilar simplificado pode ser visto no anexo B para melhor visualização e entendimento.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O kit fotovoltaico sugerido para o projeto bem como seus custos pode ser visto na Tabela 2.

5.1. Payback

Segundo CAMLOFFSKI (2014), o *payback* demonstra em quanto tempo o investimento será recuperado. Quanto menor o *payback*, maior a liquidez do projeto e menor o seu risco. Pode ser calculado através da equação 9.

$$\text{Payback simples} = \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{Economia anual}} \quad (9)$$

Primeiro precisamos calcular a economia anual. O sistema vai gerar 4728 kWh por mês, ou 56.736 kWh por ano. Para calcular a economia anual, utiliza-se o preço médio da energia. Como a tarifa é composta por duas modalidades diferentes, ponta e fora de ponta usa-se o preço médio. O preço médio foi calculado na equação 2 e tem valor de 0,692840 R\$/kWh.

Com o preço médio da energia pode-se calcular a economia financeira anual através da equação 10.

$$\text{Economia anual} = P_m \times E_e \quad (10)$$

Onde:

P_m : Preço médio [R\$/kWh];

E_e : Economia energética [kWh].

Logo:

$$\text{Economia anual} = 0,692840 \text{ R} \$ / \text{kWh} \times 56736 \text{ kWh} = \text{R} \$ 39.308,97$$

Logo, o *payback* simples:

$$Payback\ simples = \frac{R\$ 218.605,00}{R\$ 39.308,97} = 5,56\ anos$$

Ou seja, o investimento terá seu investimento inicial recuperado em aproximadamente 5 anos e 7 meses. Um sistema fotovoltaico possui vida útil de aproximadamente 25 anos de acordo com Pinho e Galdino (2014), logo podemos dizer que o projeto será economicamente viável já que se pagará em aproximadamente 22% da sua vida útil.

5.2. Fluxo de caixa

O fluxo de caixa previsto para o investimento durante sua vida útil pode ser visto na tabela 7, assumindo um índice de depreciação dos painéis de 0,45% ao ano valor informado pela JINKO (2022) e um índice de inflação de 16,3% (IPCA, 2022). É um indicativo melhor que o *payback* simples já que leva em consideração a depreciação dos painéis, pois estes perdem efetividade durante sua vida útil além da inflação.

Tabela 7 – Fluxo de caixa

Ano	Geração (kWh/ano)	Tarifa (R\$/kWh)	Economia (R\$)	Saldo (R\$)
0	56736	0,6928	39.308,97	-218.605,00
1	56480,69	0,8058	45.510,61	-179.296,03
2	56226,52	0,9371	52.690,66	-133.785,42
3	55973,51	1,0899	61.003,48	-81.094,76
4	55721,62	1,2675	70.627,78	-20.091,28
5	55470,88	1,4741	81.770,48	50.536,50
6	55221,26	1,7144	94.671,13	132.306,98
7	54972,76	1,9938	109.607,06	226.978,11
8	54725,39	2,3188	126.899,38	336.585,17
9	54479,12	2,6968	146.919,85	463.484,55
10	54233,97	3,1364	170.098,88	610.404,40
11	53989,91	3,6476	196.934,79	780.503,28

12	53746,96	4,2422	228.004,50	977.438,07
13	53505,1	4,9337	263.975,97	1.205.442,57
14	53264,32	5,7378	305.622,54	1.469.418,54
15	53024,63	6,6731	353.839,53	1.775.041,07
16	52786,02	7,7608	409.663,56	2.128.880,60
17	52548,49	9,0258	474.294,74	2.538.544,16
18	52312,02	10,4971	549.122,57	3.012.838,91
19	52076,61	12,2081	635.755,71	3.561.961,47
20	51842,27	14,1980	736.056,66	4.197.717,18
21	51608,98	16,5123	852.181,75	4.933.773,84
22	51376,74	19,2038	986.627,48	5.785.955,59
23	51145,54	22,3340	1.142.284,24	6.772.583,07
24	50915,39	25,9744	1.322.498,43	7.914.867,31

Fonte: Autor (2022)

O fluxo de caixa apresenta um retorno do investimento inicial em 4 anos e 3 meses, concluindo que o investimento é bastante viável.

5.3. Carbono Evitado

O carbono evitado, segundo o SOLARVIEW (2019) é a quantidade de CO₂ evitado por uma instalação fotovoltaica e pode ser calculado pela equação 11 através da energia elétrica gerada em um determinado período de tempo e o fator de emissão médio de CO₂ do SIN (Sistema Integrado Nacional).

$$\text{Carbono Evitado (kg)} = \text{Energia gerada (kWh)} \times \text{Fator de emissão de CO}_2 \text{ (kg/kWh)} \quad (11)$$

O valor da energia gerada poderá ser obtido utilizando a geração da Tabela 7. Tem-se que nos 25 anos de vida útil do sistema, ele gerará 1.395.070 kWh. O fator de emissão é publicado anualmente pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). O fator mais recente publicado pelo MCTI em 2020, foi de 0,3490 tCO₂/MWh. Será utilizado para o cálculo o fator em kg/kWh. A razão de conversão é de 1:1, portanto tem-se:

$$\text{Carbono Evitado (kg)} = 1.395.070,96 \text{ kWh} \times 0,3490 \text{ kg/kWh}$$

$$\text{Carbono Evitado (kg)} = 486.879 \text{ kg}$$

O sistema evitará a emissão direta de aproximadamente 487 toneladas de carbono durante toda sua vida útil. Isso equivale de acordo com a NeoSolar (2022) à 3477 árvores plantadas.

6. CONCLUSÃO

Com relação ao projeto em si, de acordo com a análise econômica, conclui-se que o investimento inicial é viável, pois se pagará em 4 anos e 3 meses, período este, bem menor que a vida útil estimada do sistema, previsto em 25 anos. A análise ecológica concluiu que o sistema evitará a emissão direta de 487 toneladas de carbono durante sua vida útil, equivalente a 3477 árvores plantadas.

O sistema contará com 90 módulos fotovoltaicos que conseguirá abater 100% da carga instalada da Casa do Estudante da UFGD gerando em torno de R\$ 39.308,37 em economia no primeiro ano, além de que todo e qualquer excedente poderá ser utilizado como créditos em qualquer unidade conectada a Fundação Universidade Federal da Grande Dourados. O sistema também foi projetado com folga visando a possibilidade de expansão futura caso necessária.

As leituras feitas durante este estudo mostram que a tecnologia fotovoltaica já está se consolidando e crescendo em âmbito nacional e fica claro que trará benefícios tanto para o consumidor quanto para o próprio sistema elétrico integrado nacional.

7. BIBLIOGRAFIA

123RF – Solar panels or Polycrystalline Silicon Solar cells on rooftop or terrace of building. Stock Photo. 2018. Cape Town – Africa do Sul. Disponível em: <https://www.123rf.com/photo_86260431_solar-panels-or-polycrystalline-silicon-solar-cells-on-rooftop-or-terrace-of-building-in-cape-town-s.html>. Acesso em 16 maio 2022.

ABSOLAR – **Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/mercado-de-energia-solar-no-brasil.html>>. Acesso em 16 maio 2022.

ALDO – **O que são painéis monocristalino e quais são suas vantagens?**. Disponível em: <<https://www.aldo.com.br/blog/o-que-sao-paineis-monocristalinos-e-quais-sao-suas-vantagens/>>. Acesso em 16 maio 2022.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2002. 153p. Disponível em: <<http://livroaberto.ibict.br/handle/1/531>>. Acesso em 16 maio 2022.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de Abril de 2012**. (2012a) 14p. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 16 maio 2022.

BLUESOL – **Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (On Grid): o Guia 100% Completo**. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-on-grid/>>. Acesso em 16 maio 2022.

BOSCH – Installation and Safety Manual for the c-Si M60 NA 30119 Family of Crystalline Photovoltaic Modules. **Manual**. Disponível em: <https://ressupply.com/documents/bosch/c-Si_M_60_NA30119_Manual.pdf>. Acesso em 16 maio 2022.

BRASIL. Lei n. 14.300 de 6 de Janeiro de 2022. Altera as leis nºs 10.848 e 9.427. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 7 jan. 2022. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>>. Acesso em 16 maio 2022.

BP. **Statistical Review of World Energy**. 2021. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-oil.pdf>>. Acesso em 16 maio 2022.

CAIRES, G. L. R. **Análise de Viabilidade de um Sistema Fotovoltaico para a Demanda do Pesqueiro Kanoa**. Monografia (Graduação em Engenharia de Energia) Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/2864>>. Acesso em 16 maio 2022.

CANADIAN SOLAR Inc. HiKu7 Mono. CS7N. Ontario – Canada. **Datasheet**. 2022. 1p. Disponível em: <<https://www.csisolar.com/br/hiku7/>>. Acesso em 16 maio 2022.

COSTA, H. J. S. **Avaliação do fator de dimensionamento do inversor em sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2010. Disponível em: <<http://www.dee.ufc.br/anexos/TCCs/2011.1/HIGOR>>. Acesso em: 04 junho 2022.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2 ed. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 16 maio 2022.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito - SunData v3.0. 2018. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 16 maio 2022.

ELY, F; SWART, J. W.; Energia solar fotovoltaica de terceira geração. **O Setor Elétrico**. Nº 138, Outubro de 2014. Disponível em: <<http://www.ieee.org.br/wp->

<content/uploads/2014/05/energia-solar-fotovoltaica-terceira-geracao.pdf>> Acesso em 16 maio 2022.

ENERGISA. **Tipos de Tarifas**. MS. Dourados. 2022.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2021**: Ano base 2020. RJ: 2021. 182p.

EPA – United States Environmental Protection Agency. **Greenhouse Gas Equivalencies Calculator**. Estados Unidos. Disponível em <<https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator>>. Acesso em 04 junho 2022.

GLOBAL SOLAR ATLAS, **Direct normal irradiation**. Disponível em: <<https://globalsolaratlas.info/>>. Acesso em 16 maio 2022.

GOOGLE MAPS. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em 16 maio 2022.

GREEN, M. **Third Generation Photovoltaics: Advanced Solar Energy Conversion**. Berlin: Springer-Verlang. Heidelberg, Alemanha. 2003.

GROWATT. New Technology Co., LTD. MAC60KTL3-X LV. **Datasheet**. 2 p. 2022. Disponível em: <<https://www.ginverter.pt/show-42-626.html>>. Acesso em 16 maio 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World electricity generation by source**. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>>. Acesso em 16 maio 2022.

ISE – Fraunhofer Institute for Solar Systems. **Photovoltaics Report**. Disponível em <<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>>. Acesso em 16 maio 2022.

JINKO SOLAR. Tiger Pro72HD-TV 525-545 Watt: Módulo Bifacial com Backsheet Transparente. **Datasheet**. 2 p. 2022. Disponível em: <<https://www.jinkosolar.com/en/site/dwparametere>>. Acesso em 16 maio 2022.

MOREIRA, J. R. S.; colaborador Alberto Hernandez Neto. et al. Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021. 481p.

CAVALCANTE NETO, T.N. **Preço Médio da Energia Elétrica**. 2018. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/pre%C3%A7o-m%C3%A9dio-da-energia-el%C3%A9trica-tomaz-nunes-cavalcante-neto/>>. Acesso em 16 maio 2022.

NREL – National Renewable Energy Laboratory. **Best Research-Cell Efficiency Chart**. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>>. Acesso em 16 maio 2022.

PAN, A. **A evolução das células solares**: 1ª, 2ª e 3ª geração. 2021. Artigo disponível em <<https://energia3s.com.br/2021/06/19/a-evolucao-das-celulas-solares-1a-2a-e-3a-geracao/>> Acesso em 16 maio 2022.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Grupo de Trabalho de Energia Solar (GTES). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/manual_de_engenharia_fv_2014.pdf>. Acesso em: 16 maio 2022.

PORTAL SOLAR. **Dados do mercado de energia solar no Brasil** – Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/mercado-de-energia-solar-no-brasil.html>>. Acesso em 16 maio 2022.

PV MAGAZINE. **Six-junction III-V solar cell with 47.1% efficiency**. United States. abril 2020. Disponível em: <<https://www.pv-magazine.com/2020/04/14/six-junction-iii-v-solar-cell-with-47-1-efficiency/>>. Acesso em 16 maio 2022.

PV MAGAZINE. **Weekend read: Indium – Sustainability, not supply**. Australia. n. 1, jan. 2022. Disponível em: <<https://www.pv-magazine-australia.com/2022/01/15/weekend-read-indium-sustainability-not-supply/>>. Acesso em 16 maio 2022.

RAMANUJAM, J.; BISHOP, D.M.; TODOROV, T.K.; GUNAWAN, O.; RATH, J.; NEKOVEI, R.; ARTEGIANI, E.; ROMEO, A. Flexible CIGS, CdTe and a-Si:H based thin film solar cells: A review. **Progress in Materials Science**, vol. 110, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2019.100619>>

ROSSI, G. B. **Projeto, implementação e validação de um sistema fotovoltaico conectado à rede de distribuição de energia elétrica**. 2017. 93 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

SOLARVIEW. **Equivalências de economia – Sustentabilidade**. 2022. Disponível em: <<https://my.solarview.com.br/base-conhecimento/equivalencias-de-economia-sustentabilidade/>>. Acesso em 16 maio 2022.

SOLAVISTA – Solavista Energia Solar – **Tipos de Paineis Solares**. 2022.

SOUZA, C. A. Agence France Presse. **Usina de Pirapora**. 2017.

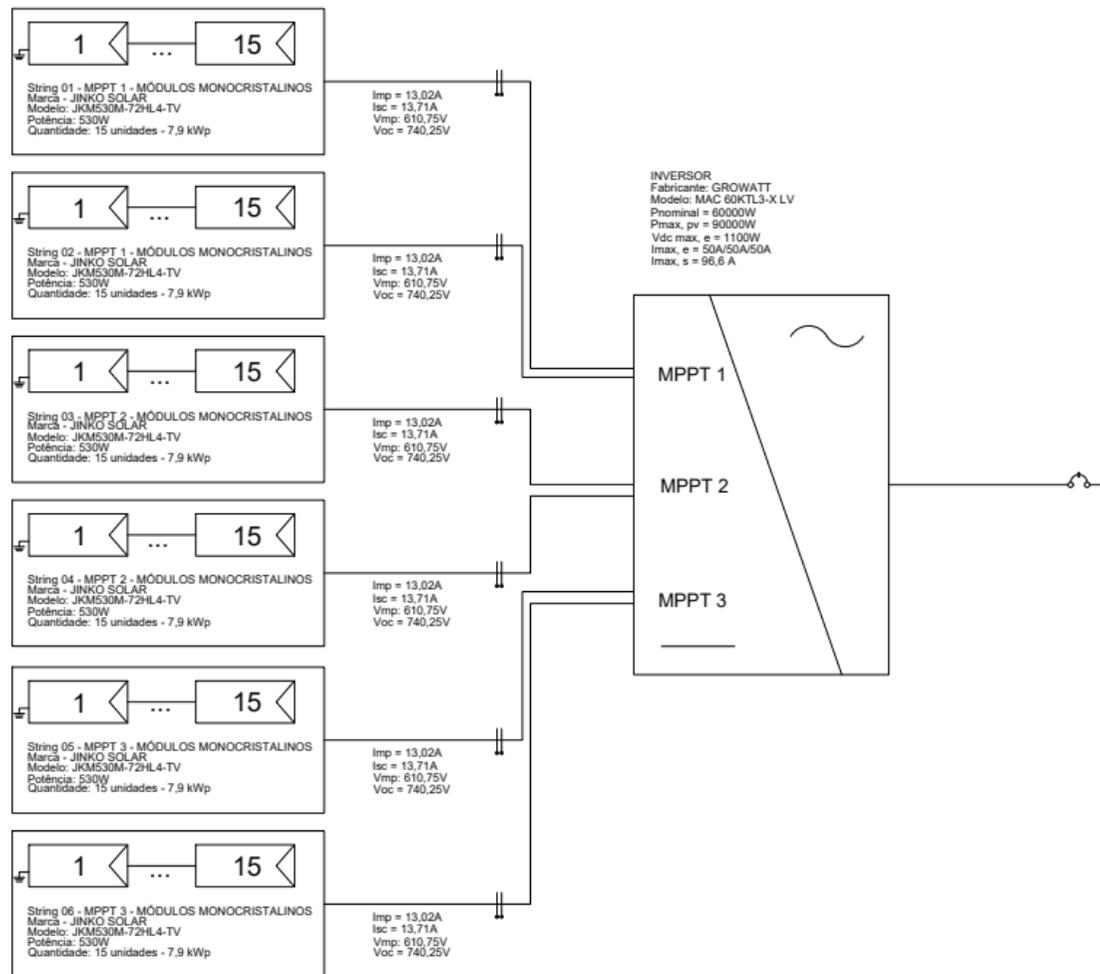
SOUZA, J. P. **Oversizing e clipping nos sistemas fotovoltaicos**. 2019. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/oversizing-e-clipping-nos-sistemas-fotovoltaicos/>>. Acesso em 16 maio 2022.

VILLALVA, M. G.; de PAULA, B. H. K. **Análise de causas de baixo desempenho nos sistemas fotovoltaicos**. 2019. Disponível em:

<<https://canalsolar.com.br/analise-das-causas-de-baixo-desempenho-nos-sistemas-fotovoltaicos/>>. Acesso em 16 maio 2022.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**: sistemas isolados e conectados à rede. 2 ed. São Paulo: Editora Érica, 2012. 224p.

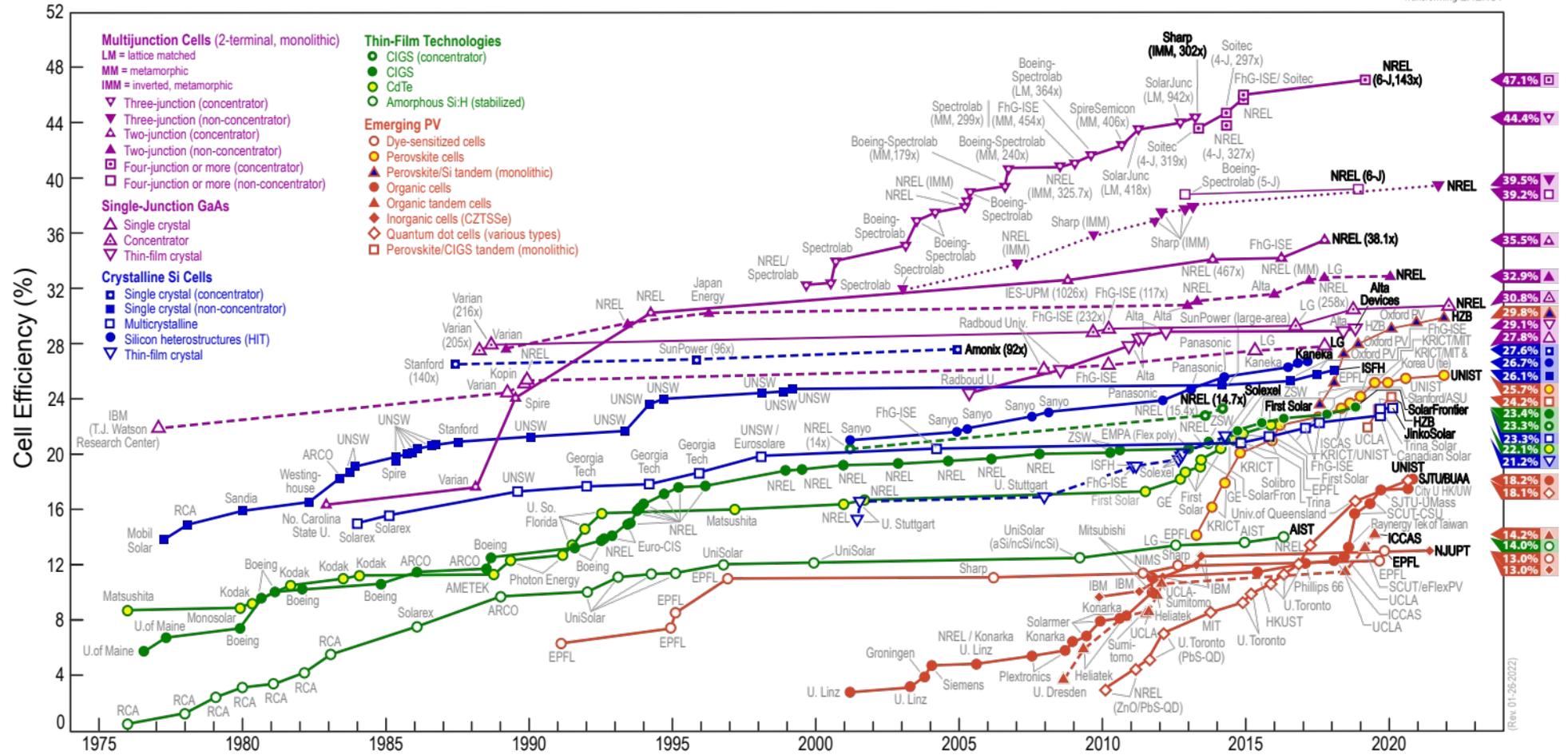
Anexo B – Projeto elétrico simplificado



Anexo C – Evolução da tecnologia fotovoltaica



Best Research-Cell Efficiencies



(Rev. 01-26-2022)