

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CARLOS EDUARDO RODRIGUES DOS SANTOS

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UMA UNIDADE
DE RECEBIMENTO DE GRÃOS

JANDAIA DO SUL

2022

CARLOS EDUARDO RODRIGUES DOS SANTOS

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UMA UNIDADE
DE RECEBIMENTO DE GRÃOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo José da Silva.

JANDAIA DO SUL

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA JANDAIA DO SUL

Santos, Carlos Eduardo Rodrigues dos

Dimensionamento de um sistema fotovoltaico para uma unidade de recebimento de grãos. / Carlos Eduardo Rodrigues dos Santos. – Jandaia do Sul, 2022.

1 recurso on-line : PDF.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Paraná, Campus Jandaia do Sul, Graduação em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo José da Silva.

1. Placa solar. 2. Unidade armazenadora. 3. Sustentabilidade. 4. Sistemas fotovoltaicos. 5. Dimensionamento. I. Silva, Marcelo José da. II. Universidade Federal do Paraná. III. Título.

CDD: 631



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PARECER Nº
PROCESSO Nº

1/2022/UFPR/R/JA/CCEAG
23075.060968/2022-31

INTERESSADO:

CARLOS EDUARDO RODRIGUES DOS SANTOS, COORDENAÇÃO DE CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UMA UNIDADE DE RECEBIMENTO DE GRÃOS

AUTOR: CARLOS EDUARDO RODRIGUES DOS SANTOS (GRR20151472)

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE BACHAREL EM ENGENHARIA AGRÍCOLA, APROVADO PELA SEGUINTE BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marcelo José da Silva (Orientador)

Prof. Dr. José Gabriel Vieira Neto

Prof. Dr. Marcelo Franco de Oliveira



Documento assinado eletronicamente por **MARCELO JOSE DA SILVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/09/2022, às 16:15, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **JOSE GABRIEL VIEIRA NETO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/09/2022, às 16:16, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **MARCELO FRANCO DE OLIVEIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/09/2022, às 16:28, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **4925425** e o código CRC **8D86585E**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me proporcionar saúde e recursos para a realização deste trabalho.

Agradeço a Universidade Federal do Paraná (UFPR) e a todos os professores, que ao longo desses anos me proporcionaram tantos conhecimentos e me moldaram para ser o profissional sou hoje.

Ao prof. Dr. Marcelo pela compreensão e auxílio no desenvolvimento deste trabalho. Obrigado pela confiança.

A minha esposa Raíza por me dar suporte em todos os momentos.

E aos amigos e familiares que me apoiaram durante esta jornada tão importante em minha vida.

Obrigado a Todos.

RESUMO

No cenário atual o Brasil vem apresentando um aumento de 1,4% no consumo de energia fotovoltaica, apenas no primeiro semestre de 2022, uma vez que o país apresenta um grande potencial de geração, por ser um país tropical que apresenta altos índices de irradiação solar durante todo ano. A energia solar fotovoltaica inicialmente era encontrada majoritariamente em residências, no entanto as empresas vêm buscando a implantação da energia solar visando a diminuição dos gastos com energia elétrica. Todavia o uso destas usinas de geração via energia solar em unidades de armazenamento de grãos ainda não é frequente. Assim, o presente trabalho teve como objetivo o dimensionamento de uma usina solar fotovoltaica para uma unidade de recebimento de grãos. Portanto, determinou-se que para suprir as necessidades da unidade de recebimento serão necessários 138 painéis fotovoltaicos, com capacidade de 75,9 kWp. O custo total da implantação será de R\$ 279.238,5, com um tempo de retorno de 10 anos e 2 meses. Sendo assim, o dimensionamento mostrou que a implantação da energia solar na unidade será viável e suprirá o gasto energético da unidade.

Palavras-chave: Placa solar. Unidade Armazenadora. Sustentabilidade. Sistemas fotovoltaicos. Dimensionamento.

ABSTRACT

Brazil has been showing an increase of 1.4% in the consumption of photovoltaic energy, only in the first half of 2022. The country has a great generation potential, as it is a tropical country that has high levels of solar irradiation throughout the year. Photovoltaic solar energy was initially found mostly in houses, however companies have been seeking to implement solar energy in order to reduce electricity costs. However, the use of these generation plants via solar energy in grain storage units is still not frequent. Thus, the present work aimed to design a photovoltaic solar plant for a grain receiving unit. Therefore, it was determined that to meet the needs of the receiving unit, 138 photovoltaic panels will be needed, with a capacity of 75.9 kWp. The total cost of implementation will be R\$ 279,238.5, with a payback period of 10 years and 2 months. Therefore, the design showed that the implementation of solar energy in the unit will be viable and will supply the energy expenditure of the unit.

Keywords: Solar painel. Storage grain Unit. Sustainability. Photovoltaic systems. Sizing

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESTRUTURA DE UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA DE SILÍCIO CRISTALINO.....	15
Figura 2 - MÉTODOS DE INSTALAÇÃO DO CONDUTOR ELÉTRICO.	29
Figura 3 - SEÇÃO TRANSVERSAL PARA CONDUTOR DE COBRE.	30
Figura 4 - FICHA TÉCNICA MÓDULO FOTOVOLTAICO.....	35
Figura 5 - MODELO DE INVERSOR UTILIZADO	35
Figura 6 - FICHA TÉCNICA INVERSOR.	36
Figura 7 - LAYOUT DE INSTALAÇÃO.....	37
Figura 8 - CORTE A.....	38
Figura 9 - UNIDADE ARMAZENADORA.....	38
Figura 10 - PONTO DE INSTALAÇÃO DOS PAINÉIS SOLARES	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - EQUIPAMENTOS DA UNIDADE.	20
Tabela 2 - DADOS FORNECIDOS PELA COMPANIA DE ENERGIA.	21
Tabela 3 - CONSUMO MENSAL.....	22
Tabela 4 - VALORES DE IRRADIAÇÃO A PARTIR DOS ÂNGULOS.	24
Tabela 5 – COEFICIENTES DE PERDAS.	25
Tabela 6 - DADOS FINAIS DO DIMENSIONAMENTO.	30
Tabela 7- LISTA DE EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS PARA IMPLANTAÇÃO.	32
Tabela 8 – RESULTADOS FINAIS DO DIMENSIONAMENTO.....	34
Tabela 9 - COEFICIENTE DE PERCAS REAIS.....	47
Tabela 6 - DADOS FINAIS DO DIMENSIONAMENTO.	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 HISTÓRICO DA ENERGIA SOLAR	13
2.2 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA.....	13
2.2.1 Tipos de Consumo	14
2.3 SISTEMA.....	15
2.3.1 Módulos Solares.....	15
2.3.2 Baterias	16
2.3.3 Controlador de Carga	16
2.3.4 Inversores.....	17
2.3.5 Sistemas fotovoltaicos.....	17
3 MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 CONSUMO.....	21
3.2 DIMENSIONAMENTO.....	22
3.3 ORÇAMENTO	31
4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	34
5.CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS.....	42
APÊNDICE 1 – MEMORIAL DE CÁLCULO SIMPLIFICADO	45

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a demanda energética mundial e nacional vem crescendo rapidamente. No entanto as principais fontes de energia no mundo ainda são compostas majoritariamente de energia não renováveis como o petróleo e seus derivados, carvão mineral, gases naturais e nucleares. No Brasil temos como principal fonte geradora de energia as usinas hidroelétricas, estas que mesmo sendo considerada uma energia limpa de fonte renovável, gera um grande impacto ambiental devido a construção das grandes barragens, e dos desvios dos rios. (PORTAL SOLAR, 2021)

Contudo a geração apenas das usinas hidroelétricas não é suficiente para suprir toda a demanda energética do país, por isso, o Brasil utiliza também como fonte de energia os combustíveis fósseis, nucleares e uma pequena parcela de outras energias renováveis, como a biomassa, eólica e solar. Sendo, a energia solar responsável por 2,47% da geração total. (BEN, 2022).

No presente momento a energia solar vem ganhando campo gradativamente. Somente no primeiro semestre de 2022 o aumento no consumo foi de 1,4% em relação ao ano de 2021, no Brasil. Isto ocorre devido a conscientização da população, que vem procurando novas formas de obtenção de energia, e a solar se mostra um bom custo benefício, uma vez que seu método de obtenção é simples, tem uma fonte ilimitada, limpa, sustentável e consegue-se ver o retorno em pouco tempo. (PORTAL SOLAR, 2022).

A obtenção da energia solar fotovoltaica é proveniente do sol. Isto acontece por meio da incidência dos raios solares em painéis que fazem a captação da luz solar e a converte para energia elétrica por meio de um processo chamado efeito fotovoltaico. Assim quanto maior a incidência da radiação nas placas, maior é a quantidade de energia elétrica gerada. (JÚNIOR; SOUZA, 2018).

Além de ser usada em residências, os sistemas fotovoltaicos também são amplamente utilizados em empresas de serviços que demandam um alto consumo energético, sempre visando a diminuição de gastos. As indústrias de recebimento de grãos são umas destas empresas, uma vez que fazem a utilização de grandes equipamentos que demandam um alto consumo elétrico para seu funcionamento. (PINHO, 2014).

As unidades de recebimento de grãos desenvolvem uma função fundamental no setor agrícola ao receber a produção e manter os grãos estocados em excelente estado de conservação, para em seguida fazer o abastecimento do mercado interno e externo. É importante salientar a diferença de uma unidade de recebimento e uma unidade de beneficiamento. Na unidade de beneficiamento o grão recebido sofrerá processos como pré-limpeza, limpeza e secagem. Já nas unidades de recebimento o grão não será melhorado sendo que não há limpeza e secagem na unidade, apenas preservado até sua destinação. (SCHOENINGE, 2019).

Assim o presente trabalho teve como objetivo realizar o dimensionamento de uma usina solar fotovoltaica, afim de diminuir os gastos elétricos mensais de energia da unidade de recebimento.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 HISTÓRICO DA ENERGIA SOLAR

A energia fotovoltaica como conhecemos foi anunciada em 1954, por Russell Shoemaker Ohl na reunião da National Academy of Science. Isto só foi possível devido ao trabalho de Calvin Fuller e Gerald Pearson, isto pois Fuller e Person foram os responsáveis por criarem e estabilizarem as primeiras células de silício, estas que quando mergulhadas em lítio apresentavam comportamento fotovoltaico (PORTAL SOLAR, 2022).

Em 1955, Fuller e Pearson se encontraram com Daryl Chapin, o qual estava procurando uma fonte de energia para utilizar com baterias em linhas telefônicas remotas, e assim as células de silício foram utilizadas como fonte de alimentação na linha, apresentando uma conversão máxima de 6% (BLUESOL, 2022).

Segundo Joao Tavares Pinho (2014) em 1976 David Carlson e Christopher Wronski desenvolveram a primeira célula de silício amorfo como uma eficiência de 1.1%. A primeira célula de filme fino foi desenvolvida na universidade da Flórida do Sul, em 1992 com uma eficiência máxima de 15,89%, MAS ISTO OCORREU SOMENTE após 2 anos de pesquisa no laboratório Nacional de Energia renovável (NREL, sigla em inglês).

No ano de 2000 foram construídos os primeiros sistemas conectados à rede. Em 2011 com o aumento das fabricas de painéis e peças para sistemas solares na China fez com que reduzissem os custos dos sistemas, chegando a custar US\$1,25 por Watt (PINHO, 2014).

2.2 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

No Brasil a primeira resolução criada pela ANEEL foi a Resolução Normativa nº 482, que estabelecia as condições para micro e minigeração de energia e compensação elétrica pelos geradores. No entanto em 2015 a RN 482 foi atualizada para RN 687/2015, onde estabelece um limite para micro e minigeração elétrica, sendo estas de até 75 kW de potência para micro e de 75 kW a 5 MW para mini. Assim sendo possível determinar em qual modalidades o sistema de encaixa, se este é

geração distribuída, autoconsumo remoto, geração compartilhada de múltiplas unidades consumidoras, que seria a geração em condomínio (ANEEL, 2015).

De acordo com as regras da ANEEL nº687/2015 e nº786/2017, a instalação de unidades geradoras de pequeno porte, em suas unidades consumidoras, permite que o excedente não utilizado seja injetado na rede da concessionária, em que a mesma gera um crédito que ficará disponível para utilização em até 60 meses. Segundo a ANEEL, o crédito pode ser utilizado pela própria unidade geradora ou outras unidades desde que estejam previamente cadastradas afim de serem atendidas pela concessionária. Segundo a norma pra a utilização desses créditos faz se necessário que as outras unidades consumidoras estarem cadastradas no mesmo CPF ou CNPJ, porém seguindo a norma também temos outras três modalidades de geração compartilhada sendo elas, autoconsumo remoto, múltiplas unidades consumidoras e geração compartilhada (COPEL, 2022).

2.2.1 Tipos de Consumo

O autoconsumo se enquadra em unidades que estão em mesma titularidade de uma pessoa física ou jurídica, que possua unidade de consumidora com micro ou minigeração em local diferente, porém dentro da área de concessão da concessionária (COPEL, 2022).

Já em múltiplas unidades consumidoras, a energia é utilizada de forma independente, onde cada fração tem uso individualizado. Uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituem uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, administração ou proprietário do empreendimento, com micro ou minigeração distribuída, desde que as unidades estejam localizadas em uma mesma propriedade (ANEEL, 2015).

A geração compartilhada é a reunião por meio de consórcio ou cooperativa, composta de pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com micro ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras onde o excedente será compensado (COPEL, 2022).

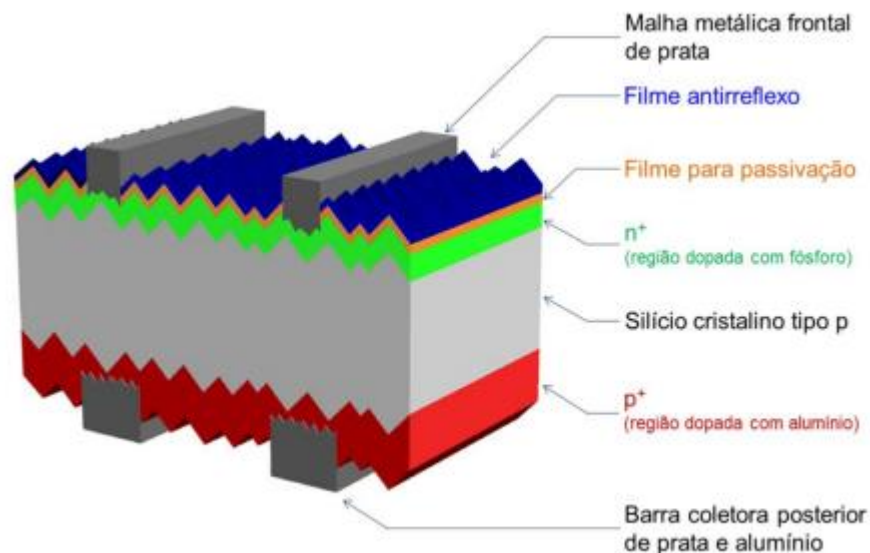
2.3 SISTEMA

A seguir estão descritos os principais componentes dos sistemas fotovoltaicos.

2.3.1 Módulos Solares

Existe três gerações de painéis solares, sendo a primeira de silício cristalino. Esse modelo correspondeu a 87,9% do mercado solar em 2011. A matéria prima utilizada para a fabricação dos painéis solares, tem uma alta pureza, alcançando até 99,9999999% (silício de grau eletrônico). Na FIGURA 1 abaixo pode-se observar como é constituída uma célula solar.

FIGURA 1 – ESTRUTURA DE UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA DE SILÍCIO CRISTALINO.



FONTE: Pinho (2014).

A partir da FIGURA 1 é possível observar cada parte da estrutura da célula fotovoltaica. Onde em sua parte mais interna, há a presença de uma barra coletora feita de prata e alumínio, seguida de uma região positiva também feita de alumínio. Ao meio, encontra-se uma camada grossa de Silício cristalino, seguido de uma camada negativa feita de fósforo, encoberto por um filme para passivação. Na camada mais exterior são encontrados o filme antirreflexo e a malha frontal feita de prata. Sistemas a base de silício tem uma garantia de geração mínima de 80% em um período de 20 a 25 anos, existem também células/ módulos solares de filmes finos, representando 12% do total de célula solares produzidas no mundo.

Segundo Peroza (2015), células solares podem ser construídas com silício amorfo hidrogenado (a-Si:H), disseleneto de cobre e índio (CIS) ou disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS), e telureto de cádmio (CdTe). As células de filmes finos são consideradas a segunda geração, obtendo uma eficiência de até 10%, esses módulos de segunda geração ocupam mais áreas de geração comparado com os módulos de silício cristalino, além de maior custo para instalação dos módulos. Existem também as células de CdTe, construídas a partir de sulfeto de cádmio (CdS) e de telureto de cádmio (CdTe), que segundo PEROZA (2015), este processo ainda é pouco usado nas indústrias, pois há o risco de contaminação do ambiente pelo elemento Cádmio. Neste, as células fotovoltaicas apresentam uma eficiência máxima de 15%, atingindo uma potência mínima de 80% após os 25 anos.

2.3.2 Baterias

As baterias são dispositivos armazenadores de energia muito utilizados em sistemas off-grid (desconectados da rede). Através delas é possível armazenar parte da energia gerada para se utilizar posteriormente em dias chuvosos ou durante o período noturno, quando não há geração elétrica.

Há também a possibilidade de utilização de baterias em sistemas *on-grid*. Em países da Europa e Estados Unidos a configuração já é aplicada. No entanto, no Brasil falta regulamentação para os casos de micro (geração menor igual a 75kW) e minigeração (geração 75 kW até 5 MW), fazendo com que este sistema não seja aceito pelas concessionárias de energia.

No mercado existem diversos tipos de baterias, sendo as de chumbo ácido (Pb- ácido) as mais utilizadas, devido seu baixo custo. Novas tecnologias vêm sendo utilizadas como os íons de Lítio (Lí-ion), que apresentam maior eficiência e menor descarga, porém com maior custo de instalação quando comparadas com de chumbo ácido (PINHO, 2014).

2.3.3 Controlador de Carga

Os controladores de cargas são equipamentos de suma importância em sistemas fotovoltaicos off-grid, pois através destes pode-se definir limites máximos de carga e descarga das baterias, aumentando assim a vida útil da mesma. Por isto, para

uma maior eficiência do sistema o controlador deve ser instalado respeitando o tipo de bateria especificada. Segundo Pinho (2014), um controlador projetado para uma bateria chumbo cálcio selada, pode não operar eficientemente em uma de chumbo de antimônio não selada.

Ao escolher um tipo de controlador, além de se atentar ao tipo de bateria e regime de operação do sistema, deve se também determinar a tensão e corrente do mesmo, pois com o aumento da corrente, aumenta se o custo do equipamento. De acordo com Pinho (2014) é importante selecionar um controlador que atenda o mínimo de características necessárias, evitando as que aumentem a complexidade dos sistemas e consequentemente seu custo.

A seguir estão descritas algumas características necessárias para baterias chumbo-acido, como: Controle por modulação de largura de pulso (PWM), desconexão (e reconexão) de carga, contra descarga excessiva, desvio da energia do gerador fotovoltaico quando a bateria está carregada, proteção contra corrente reversa, proteção contra sobretensões na entrada, proteção contra inversão de polaridade, proteção contra inversão na sequência da conexão modulo-bateria, proteção contra curto-circuito na saída de carga, proteção IP, informações sobre a faixa de funcionamento adequando de temperatura e umidade e garantia de fábrica de pelo menos 2 anos.

2.3.4 Inversores

Os inversores são equipamentos eletrônicos responsáveis por transformar a energia dos painéis solares ou baterias em corrente contínua (DC) para corrente alternada (AC), com ajuste para a frequência da rede de distribuição (60 Hz, no Brasil). Sistemas com potência instalada máxima de 5 kWp geralmente são instalados como sistemas monofásicos de 127V ou 220V dependendo da localização do estado do país (ACADEMIA DO SOL, 2022).

Segundo Pinho (2014) para sistemas com potências instalada maiores, a alimentação deve ser trifásica, pois há uma diminuição de gasto com cabeamento.

2.3.5 Sistemas fotovoltaicos

Os sistemas *Off Grid* (sem conexão com a rede da concessionária de energia) são principalmente utilizados em regiões remotas, não alcançadas pelo sistema interconectado da rede de distribuição de eletricidade. Os sistemas *Off-grid* também são aplicados em locais com instabilidade na rede elétrica, pois possibilita armazenar a energia em baterias. A energia armazenada nas baterias pode ser utilizada posteriormente, em períodos sem irradiação solar.

A capacidade desses sistemas está relacionada com o armazenamento de energia. Existe no mercado uma infinidade de baterias como baterias de lítio, chumbo ácido entre outras, que podem ser utilizadas nesses sistemas. As baterias automotivas são as mais frequentes.

Tem-se também o sistema *On Grid* onde se trabalha de forma conjunta com a concessionária, fazendo com que a geração fotovoltaica excedente seja mandada para a rede gerando um crédito. Assim quando a residência não está gerando energia, utiliza-se da concessionária, como em períodos noturnos ou em dias chuvosos em que a geração é mínima ou nula, abatendo do excedente gerado.

Além dos sistemas *off grid* e *On grid* há os sistemas híbridos, onde em um mesmo sistema podemos armazenar energia em baterias, para utilizar-se nos períodos sem geração fotovoltaica e utilizar da rede, quanto a junção de outros tipos de geradores como gerador a diesel, eólico ou mini hidroelétricas (ALMEIDA *et al.*, 2016).

2.4 UNIDADE DE RECEBIMENTO E ARMAZENAMENTO.

As unidade de recebimento são aquelas responsáveis por receber a produção agrícola, e encaminhar para Processamento, que é o caso da unidade utilizada neste projeto, com isso a uma demanda alta de energia, sendo que muitas vezes são utilizados equipamentos de alto consumo, como tombadores que são responsáveis por descarregar produto dos caminhões, temos também os elevadores de grãos, que retiram os produtos das moegas direcionando para carregamento de caminhões, ou outros fluxos como armazenar, ou processar o produto dependendo da unidade de recebimento ou armazenadora. Em algumas situações faz se necessário a utilização de outros equipamentos de transportes como redlers ou correias transportadoras, que diferente dos elevadores de grãos transportam os grãos na horizontal até seu destino, como silos pulmões. Quando armazenado em silos/ silos pulmões tem-se a

necessidade de aerar os produtos armazenados, diminuindo assim danos causados por aquecimento e umidade.

segundo Guedes (2011), as unidades de recebimento de grãos se enquadram no modelo tarifário horo-sazonal azul, sendo aplicadas a consumidores do grupo de alta tensão, sendo faturados pelo consumo de ponta/ fora de ponta durante o dia e períodos mais secos ou úmidos, de acordo com o período do ano.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico foi utilizada como base uma unidade de recebimento de grãos, localizada no município de Jandaia do Sul, região norte central do Paraná. Esta unidade é responsável por receber a produção agrícola da região, armazenar e encaminhar para beneficiamento em outras unidades. Atualmente sua capacidade máxima de armazenamento é de 2760 toneladas, sendo que os períodos de maior consumo de energia são de fevereiro a março (safra verão) e de agosto a setembro (safra inverno).

Tendo em vista que a unidade utilizada é somente recebimento, tem-se na TABELA (1) a seguir os principais equipamentos que geram maior consumo de energia, assim como as quantidades destes presentes na unidade.

Tabela 1 - EQUIPAMENTOS DA UNIDADE.

Equipamentos	Quantidade	Potência (W)	Potência total (W)
Elevador	2	73549,9	147099,8
	1	44129,9	44129,9
Transportador de corrente	2	7354,9	14709,8
	2	5516,24	11032,48
Tombador	1	44129,9	44129,9
Aerador	2	22065	44130
Calador pneumático (Motores)	1	5516,24	5516,24
	1	2206,5	2206,5
Refletor	15	200	300
	14	100	1400
Lâmpada de Led	26	10	260
Total V(kW)		204,77	317,61

NOTA: W (Watts).
FONTE: O autor (2022).

Para obter os dados de gastos de energia gerados pela unidade, uma vez que a principal e única fonte de eletricidade é proveniente da rede municipal, utilizou-se a fatura de energia elétrica. Assim os dados necessários para o dimensionamento encontram-se listados na TABELA (2) a seguir:

Tabela 2 - DADOS FORNECIDOS PELA COMPANIA DE ENERGIA.

DADOS DA UNIDADE	
ESTADO	PARANÁ
CIDADE	JANDAIA DO SUL
DISTRIBUIDORA	COPEL
ICMS (%)	27
COFINS (%)	4,15
PIS (%)	0,90
DEMANDA CONTRATADA (kW)	60
ÁREA DISPONIVEL (M²)	4300
ILUMINAÇÃO PÚBLICA (R\$)	116,82
CONSUMO INSTANTANEO (%)	80

FONTE: COPEL (2022).

Como mostrado na TABELA (2), a unidade armazenadora fica na cidade de Jandaia do Sul, no estado do Paraná, Brasil. Onde a companhia responsável pela distribuição de energia elétrica é a Companhia Paranaense de Energia, a Copel. Dentre os tributos federais encontrados durante o repasse desta energia aos contratantes encontram-se o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (CONFINS) e o Programa de Integração Social (PIS).

3.1 CONSUMO.

O consumo do local é o principal critério que foi adotado durante o dimensionamento do sistema fotovoltaico. Assim na TABELA (3) a seguir encontra-se o consumo mensal de energia dos últimos 12 meses, dividido em consumo fora de ponta (cfp) que é determinado pela concessionária para o período das 21:01 as 17:59

e o consumo de ponta (cp) e definido pelo período de 18:00 as 21:00 para todos os dias, exceto sábado, domingo e feriados.

Tabela 3 - CONSUMO MENSAL.

Data	C_{mfp} (kWh)	C_{mp} (kWh)
01/04/2021	2268	235
01/05/2021	1215	150
01/06/2021	2388	263
01/07/2021	4586	452
01/08/2021	16369	1450
01/09/2021	15678	1279
01/10/2021	2298	244
01/11/2021	1117	128
01/12/2021	2479	242
01/01/2022	1925	203
01/02/2022	1786	174
01/03/2022	15556	1371
Média mensal	5638,75	515,92
Média diária	187,96	17,2

FONTE: COPEL.

A partir dos dados obtidos da TABELA (3) é possível utilizar a seguinte equação (1) para determinar a o consumo médio diário produzido pela unidade.

$$M_d = \frac{M_m}{30} \quad (1)$$

onde:

M_d : Média Diária (kWh);

M_m : Média Mensal (kWh).

Portanto é feita a divisão da média mensal por 30, que foi a quantidade de dias do mês adotado como referência. Sendo a equação (1) utilizada tanto para o cálculo da média de ponta como da fora de ponta.

3.2 DIMENSIONAMENTO

Para encontrar a quantidade de painéis necessários para suprir as necessidades da unidade armazenadora é necessária uma série de passos que se iniciam com a determinação do fator de correção, pela equação (2).

$$F_c = \frac{T_{efp}}{T_{ep}} \quad (2)$$

onde:

F_c : Fator de Correção;

T_{efp} : Tarifa de Energia Fora de Ponta (R\$);

T_{ep} : Tarifa de Energia de Ponta (R\$).

Sendo as tarifas fora de pontas aquelas que ocorrem durante o período do dia onde o consumo de energia é baixo, período esse das 21:01H as 17:59H, já a tarifa de ponta é definida como período do dia, onde a o maior consumo de energia pela população em geral, sendo definido entre as 18:00 as 21:00 de cada dia. Assim o valor obtido para as tarifas fora retirado da fatura de energia da unidade, e são de R\$ 0,357960 para as tarifas fora de ponta e de R\$ 1,397090 para as tarifas de ponta.

A partir do fator de correção (F_c) é possível então calcular o consumo médio de ponta, equação (3):

$$C_{mp} = F_c * M_d \quad (3)$$

onde:

C_{mp} : Consumo Médio de Ponta (kWh);

F_c : Fator de Correção;

M_d : Média Diária (kWh);

Assim por meio do resultado da equação (3) é possível calcular a Potência de Pico.

$$P_p = C_{mp} + C_{mfp} \quad (4)$$

onde:

P_p : Potência de Pico (kWh);

C_{mp} : Consumo Médio de Ponta (kWh);

C_{mfp} : Consumo Médio Fora de Ponta (kWh).

Para a determinação da Potência de Pico Total, inicialmente determinou-se o potencial de geração de energia da região através das coordenadas da unidade armazenadora. As coordenadas foram obtidas através da ferramenta Google Maps e apresentou os valores de 23,601° S para longitude e 51.680 O para latitude.

Estes dados foram adicionados ao site do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB), onde obteve-se TABELA (4) a seguir:

Tabela 4 - VALORES DE IRRADIAÇÃO A PARTIR DOS ÂNGULOS.

Ângulo	Inclinação	Média
Plano Horizontal	0° N	4,86 h ¹
Ângulo igual a latitude	24° N	5,09 h ¹
Maior média anual	21° N	5,09 h ¹
Maior mínimo mensal	37° N	4,95 h ¹

NOTA: ¹ Sendo (h) a unidade em horas.

FONTE: CRESESB.

Na TABELA (4) acima estão apresentadas as quatro medias de Horas de Pico de Sol (HSP), período do dia onde a irradiação solar é igual ou superior a 1000 W/m², sendo obtida no período das 10 às 15 horas de cada dia, de acordo com cada inclinação. Portanto, de acordo com o ângulo de inclinação utilizado como referencial (24° N) é possível encontrar o fator de correção que será utilizado no cálculo da Potência de Pico Total.

$$P_{pt} = \frac{P_p}{HSP} \quad (5)$$

onde:

P_{pt} : Potência de Pico Total (kWh);

P_p : Potência de Pico (kWh);

HSP : Horas de Pico de Sol (kWh/m²)

Para o dimensionamento das placas também é muito importante levar em consideração os coeficientes de perda. Estes que podem ser decorrentes de sujidades sobre as placas, elevações de temperaturas, entre outros fatores que podem ser encontrados na TABELA (5) a seguir:

Tabela 5 – COEFICIENTES DE PERDAS.

Coeficiente de perda	Descrição	Valores
Sombreamento	Causado por objetos ao redor ou sobre os módulos.	1% - 10%
Sujeira	Acumulo de poeira, fuligem, etc., sobre os módulos fotovoltaicos	2% - 10%
Mismatch	Causado pelas diferenças elétricas dos módulos fotovoltaicos	1% - 2%
Temperatura	A potência de pico dos módulos diminui com o aumento da temperatura.	5% - 20%
Cabos CC	Perdas causadas pelo efeito Joule nos cabos	0,5% - 1%
Cabos CA	Perdas causadas pelo efeito Joule nos cabos	0,5% - 1%
Inversor	Perdas causadas pela eficiência do inversor	2% - 10%

FONTE: Silva et al, (2018).

A partir da TABELA (5) acima é possível ter uma base para determinar as variações de cada perda. Assim, para o sombreamento foi estimado o uso de 4%, onde se enquadram períodos nublados, ou parcialmente nublados, isto pois no local

onde será alocadas as placas não sofre com interferência de sombra causada por objetos e plantas, assim somente a interferência das nuvens foram consideradas. (WEATHER SPARK, 2021).

A sujeira é um ponto importante a ser considerado sendo que nesse projeto será utilizada uma variação real de 8%, pois na unidade há a geração de muita poeira devido ao solo ser descoberto e de haver muita movimentação de caminhões durante a carga e a descarga dos grãos. Os ventos que acometem a região também são um fator crítico que ajudam no acúmulo da poeira. (SILVA *et al.*, 2018).

Mismatch é causado quando há uma ou mais diferenças entre os módulos, causando assim uma diminuição na geração da energia, por exemplo se um módulo fotovoltaico tem uma célula de tamanho diferente, ele irá gerar uma menor quantidade de energia, assim, quando associado a outro, causará uma diminuição na eficiência dos outros módulos. Portanto foi utilizado a variação máxima de 2%.

Temperatura é outro fator de extrema importância, pois a potência do gerador cai entre 0,3% e 0,4% a cada 1 °C de temperatura que aumenta, como isso a instalação dos painéis em lugares de boa ventilação é de extrema importância. Para a temperatura foi estimada uma perda de 15%, visto que o clima da região tende a ser quente.

As perdas causadas pelos cabos CC/CA são causadas pelo aquecimento dos mesmo quando há o aumento de corrente. Sendo de grande importância a utilização de cabos de boa qualidade e seção correta diminuindo assim essas perdas. Assim a perda estimada foi de 1%.

As perdas causadas nos inversores são provenientes a perdas de comutação com a rede elétrica, ou pela utilização de capacitores ou indutores que servirão de filtro diminuindo assim a componente harmônica na rede elétrica. Para este foi estimada uma perda de 4%.

Tendo assim a variação total de perdas do sistema a ser instalado, que foi de 34%. Este valor total é utilizado durante o cálculo do fator de desempenho, equação (6), que é dado como:

$$F_d = 100\% - V_t \quad (6)$$

onde:

F_d : Fator de Desempenho;

V_t : Variação Total das perdas (%).

Através do fator de desempenho, podemos calcular a Potência de Pico Real (P_{pr}), requerida pelo sistema, equação (7).

$$P_{pr} = \frac{P_{pt}}{F_d} \quad (7)$$

onde:

P_{pr} : Potência de Pico Real (kWh);

P_{pt} : Potência de Pico Total (kWh);

F_d : Fator de Desempenho;

Assim através dos passos anteriores é possível fazer a determinação do número de módulos solares que serão utilizados para suprir a necessidade energética da unidade armazenadora, equação (8).

$$N_m = \frac{P_{pr}}{P_m} \quad (8)$$

onde:

N_m : Números de Módulos;

P_{pr} : Potência de Pico Real (kWh);

P_m : Potência dos módulos.

Para o dimensionamento dos disjuntores, de acordo com a Academia do Sol (2022), deve-se observar a corrente nominal de saída e o fator de correção que será

de 1,2 ou 20% da corrente nominal. E para determinar os fusíveis utiliza-se um fator de correção de 0,9 ou 90% da corrente nominal do inversor. Equação (9) e (10), respectivamente. Ambas equações serão utilizadas para o cálculo tanto da corrente contínua e como para corrente alternada.

$$D_j = c_{nm} * 1,2 \quad (9)$$

onde:

D_j : Disjuntor (A);

c_{nm} : Corrente nominal máxima.

$$F_u = c_{nm} * 0,9 \quad (10)$$

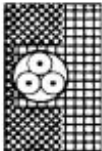
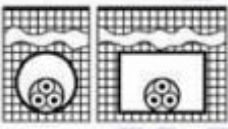
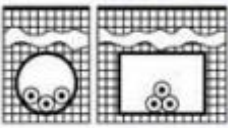
onde:

F_u : Fusível (A);

c_{nm} : corrente nominal máxima (A).

Para a seleção do cabo CC/CA, utiliza-se a norma da ABNT NBR5410, sendo determinado por dois fatores: método de instalação, presente na FIGURA (2) e a corrente máxima que passar pelo cabo em Amperes, presente na FIGURA (3).

Figura 2 - MÉTODOS DE INSTALAÇÃO DO CONDUTOR ELÉTRICO.

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
52		Cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) diretamente em alvenaria sem proteção mecânica adicional	C
53		Cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) diretamente em alvenaria com proteção mecânica adicional	C
61		Cabo multipolar em eletroduto (de seção circular ou não) ou em canaleta não-ventilada enterrado(a)	D
61A		Cabos unipolares em eletroduto (de seção não-circular ou não) ou em canaleta não-ventilada enterrado(a) ⁸⁾	D

Fonte: ABNT (2008).

Figura 3 – SEÇÃO TRANSVERSAL PARA CONDUTOR DE COBRE.

Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	125	103
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	148	122
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184	183	151
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223	216	179
120	210	188	192	172	269	239	232	206	299	259	246	203
150	240	216	219	196	309	275	265	236	344	299	278	230
185	273	245	248	223	353	314	300	268	392	341	312	258
240	321	286	291	261	415	370	351	313	461	403	361	297
300	367	328	334	298	477	426	401	358	530	464	408	336
400	438	390	398	355	571	510	477	425	634	557	478	394
500	502	447	456	406	656	587	545	486	729	642	540	445
630	578	514	526	467	758	678	626	559	843	743	614	506
800	669	593	609	540	881	788	723	645	978	865	700	577
1 000	767	679	698	618	1 012	906	827	738	1 125	996	792	652

Fonte ABNT (2008).

Para saída do inversor temos uma corrente máxima de 120 A, com método de montagem D onde os cabos multipolares serão instalados em dutos corrugados enterrados. Para este dimensionamento os cabos com seção transversal de 50 mm² poderiam ser utilizados. Porém, a distância entre o disjuntor e o transformador é grande, assim optou-se por utilizar um cabo de seção transversal superior, a fim de diminuir as perdas de transição do sistema, assim o cabo utilizado foi de 70 mm².

Na TABELA (6) a seguir estão apresentados os resultados obtidos através dos cálculos das equações que estão dispostas no APÊNDICE (1):

Tabela 6 - DADOS FINAIS DO DIMENSIONAMENTO.

Dados	Valores
Média Diária (kWh)	78,1
Fator de Correção	0,256
Consumo Médio de Ponta (kWh)	31,6159

Potência de Pico (kWh)	109,71
Horas de Pico de Sol (kWh/m ²)	5,09
Potência de Pico Total (kWh)	21,554
Fator de Desempenho	0,66
Variação Total das perdas (%)	34
Potência de Pico Real (kWh)	75,92
Números de Módulos	138
Disjuntores CA (A)	150 ¹
Disjuntor CC (A)	32 ¹
Fusível CC (A)	20 ¹
Fusível CA (A)	100 ¹
Cabos CA	70 mm ²
Cabos CC	4 mm ²

NOTA: ¹Os valores apresentados na tabela para os disjuntores e fusíveis são os encontrados comercialmente, com base no que foi calculado.

FONTE: O autor (2022).

Para determinar o inversor ideal para o projeto utilizou-se a potência de pico real, assim tem-se uma geração de 75,92kWh.

3.3 ORÇAMENTO

O orçamento do projeto foi realizado considerando os equipamentos necessários para a instalação e mão de obra. Para determinar os preços dos equipamentos, utilizamos site de revendas autorizadas, para que seja uma alternativa viável para instalação, já para a mão de obra utilizou-se o site habitissimo, que gera orçamentos online. Os nomes dos equipamentos, assim como a quantidade necessária e seus respectivos valores unitários estão apresentados na TABELA (7) a seguir:

Tabela 7- LISTA DE EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS PARA IMPLANTAÇÃO.

Itens	Quantidade	Valor unidade (R\$)	Valor Total (R\$)
Inversor	1	32.699,00	32.699,00
Modulo fotovoltaico	138	1.389,00	191.682,00
Cabo pp 2 vias 4 mm ² (M)	100	8,34	834,00
Cabo CA 70 mm ² (M)	800	56,45	45.160,00
Conector MC4	240	14,90	3.576,00
Disjuntor CC 32A	4	67,09	134,18
Disjuntor CA 150 A	1	444,09	444,09
Fusíveis CC 20A	8	17,45	139,6
Fusíveis CA 100A	3	35,80	107,4
Eletro tubo flexível 4"	200	9,98	1996
haste de cobre para aterramento 5/8" x 2.40 m	10	57,49	574,9
Cabo de cobre nu 16 mm ²	120	10,70	1.284,00
Caixa de passagem de sobrepor 30 x30	2	61,90	123,80
Eletroduto rígido zincado ¾ com 3 m	6	27,80	166,8
Eletroduto Pvc 4" Preto barra com 3 m	1	108,70	108,70
Curva de pvc 4" 90 graus	2	41,10	82,20
Luva de pvc 4 "	2	12,40	24,80
Quadro de comando 30 x 20 x 20	1	146,33	146,33
DPS CC 1000v 40 kA	2	149,90	299,80
DPS CA 460v 65 kA	4	199,90	799,60
Kit estrutura suporte fixador para 08 placas	18	964,60	17.363,00
Perfil Alumínio H, 4,4 m	7	169,03	1.183,21
Mão de obra m ²	150	238	35.700,00

Fonte: O Autor (2022).

3.4 TEMPO DE RETORNO (PAYBACK).

Tempo de retorno é o período em que o investimento demora pra se pagar, considerando a geração mensal e o custo inicial de instalação. Sendo um dado de extrema importância pois através dele, definimos a viabilidade ou não do projeto considerando a vida útil dos equipamentos.

$$T_R = \frac{\frac{Gt}{(Pp*30)*Tefp}}{12} \quad (11)$$

T_R = Tempo de retorno do investimento (anos);

Gt = Gastos Totais (R\$);

Pp = Potência de pico (kWp);

$Tefp$ = Tarifa de energia fora de ponta (R\$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na TABELA (8) a seguir estão apresentados os resultados finais do dimensionamento para a unidade de recebimento:

Tabela 8 – RESULTADOS FINAIS DO DIMENSIONAMENTO.

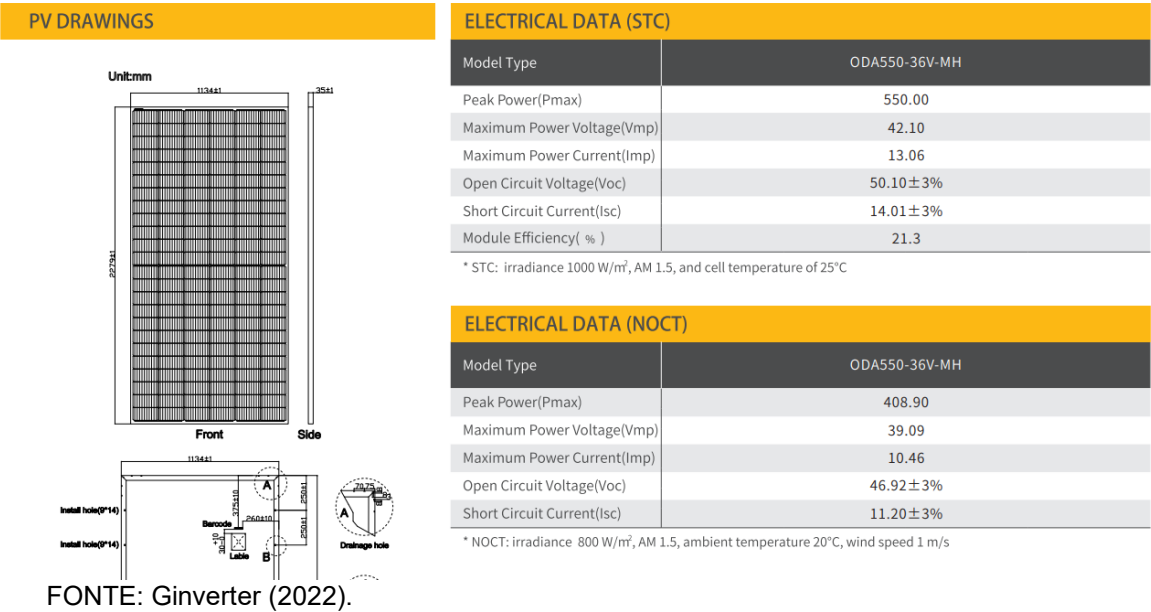
Dados	Valores
Número de Módulos	138
Inversor (kWh)	75
Gastos totais (R\$)	334.629,41
Tempo de retorno (Anos)	10 anos e 2 meses

Como visto na TABELA (8) observou-se que para o consumo elétrico da unidade é necessário a utilização de 138 painéis fotovoltaicos com potência de 550 *Watt*. Assim os painéis escolhidos foram da marca OSDA Solar, com potência de pico de 550 W, tensão máxima de 42,10 V (Volts), corrente máxima de 13,06 A (Amper) e eficiência máxima de 21.3%, FIGURA (4).

Figura 4 - FICHA TÉCNICA MÓDULO FOTOVOLTAICO.

ODA550-36V-MH

NINGBO OSDA SOLAR CO.,LTD
www.osdasol.com



A partir do resultado obtido para a potência de pico, foi determinado um inversor de 75,92 kWp. Portanto o inversor escolhido foi da marca *Growatt on Grid*, que tem uma capacidade de 75 kW, e conta com uma ligação trifásico 380 V e 7 MPPT. Este que está apresentado a seguir na FIGURA (5), juntamente a sua ficha técnica, apresentada na FIGURA (6).

Figura 5 - MODELO DE INVERSOR UTILIZADO



FONTE: Ginverter (2022).

Figura 6 - FICHA TÉCNICA INVERSOR.

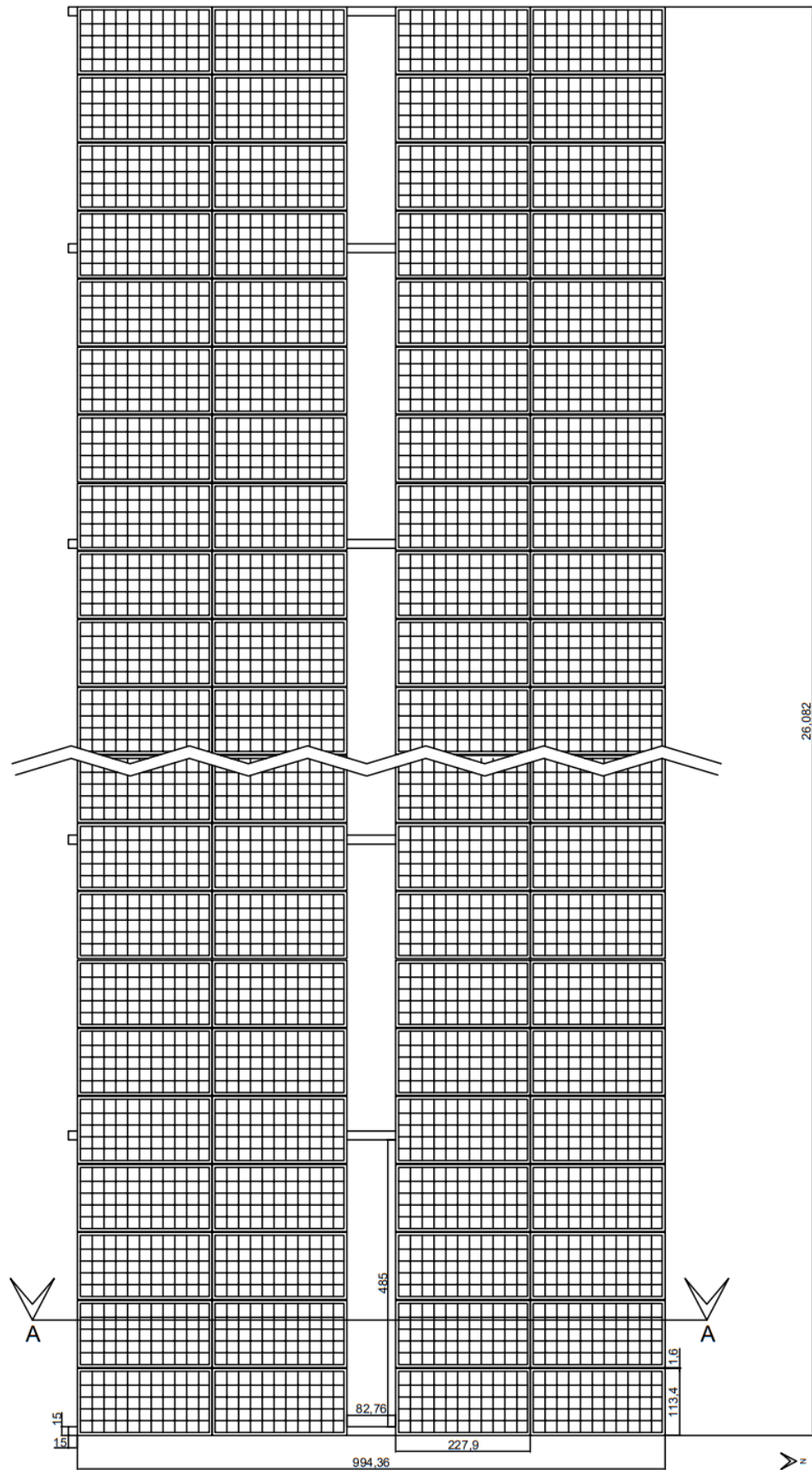
Ficha de dados	MAX 75KTL3 LV
Dados de entrada	
Máxima potência CC	112500W
Máxima tensão de CC	1100V
Tensão de partida	250V
Faixa de tensão MPPT	195V-1000V
Tensão nominal	600V
Máxima corrente de entrada por string	25A
Número de MPPT Independentes / strings por MPPT	7/2
Saída (CA)	
Potência nominal de saída CA	75000W
Máxima Potência aparente de CA	83300VA
Máxima corrente de saída	112.7A
Tensão nominal CA	220V/380V
Frequência de grade CA	50Hz/60Hz
Factor de potência	0.8I-0.8c
THDI	<3%
Tipo de conexão de rede CA	3W+N+PE
Eficiência	
Máxima eficiência	98.8%
Eficiência europeia	98.3%
Eficiência MPPT	99.9%
Dispositivos de proteção	

FONTE: Ginverter (2022).

Para a montagem do sistema elétrico, serão necessários 138 painéis, ligados em 3 linhas. Onde serão montados 46 painéis em paralelo, tendo - se assim 23 pares de painéis para atingir a corrente mínima de trabalho do inversor. E os pares serão ligados em série para aumentar a tensão dos painéis para 968 V (FIGURA (6)).

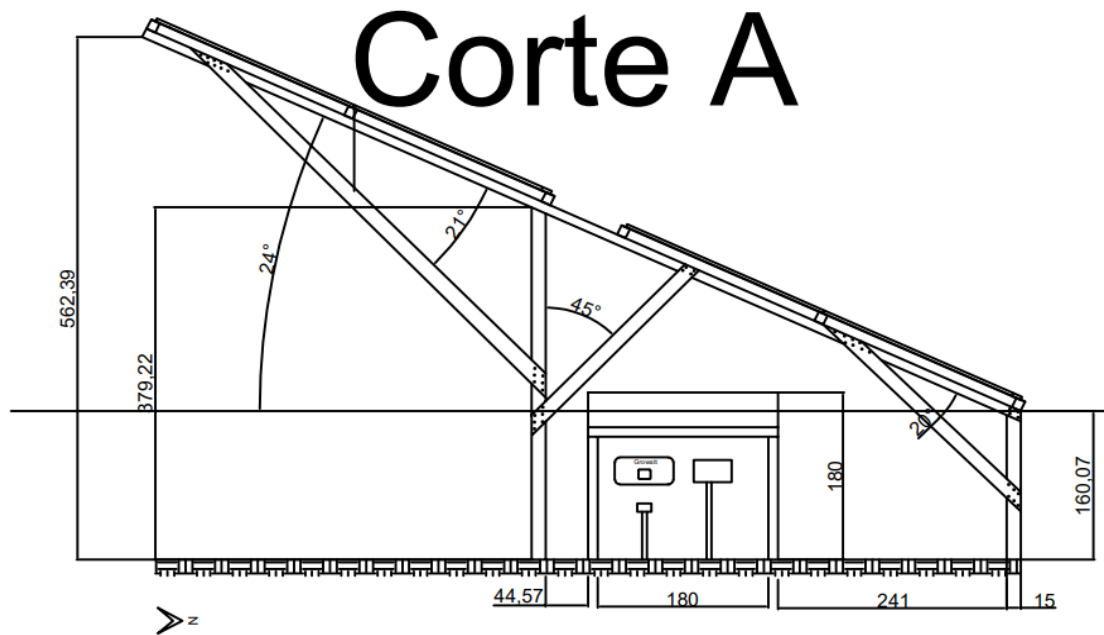
Na FIGURA (7) a seguir está apresentado a vista superior dos painéis solares, mostrando como serão feitas as disposições das placas. Na FIGURA (8) é possível ver o corte vertical, que apresenta o *layout* da estrutura, esta que também poderá ser utilizada como estacionamento coberto e a caixa de força onde estão presentes os dispositivos de proteção.

Figura 7 – LAYOUT DE INSTALAÇÃO.



FONTE: O autor, 2022

Figura 8 – CORTE A.



FONTE :O autor, 2022

Nas FIGURAS (9) e (10) é possível ver a localidade da unidade de recebimento, e o espaço disponível para a implantação do projeto.

Figura 9 - UNIDADE ARMAZENADORA.



Fonte: O Autor (2022).

Figura 10 - PONTO DE INSTALAÇÃO DOS PAINÉIS SOLARES



Fonte: O Autor (2022).

Assim para o dimensionamento deste projeto, o tempo de retorno calculado é de 08 anos e 6 meses aproximadamente. Considerando uma vida útil mínima de 25 anos a instalação ainda terá um período de geração sem grandes custos na fatura por 16 anos e 6 meses.

4.1 Vantagens e desvantagens

Como todas as fontes de energias, a energia solar fotovoltaica também tem suas vantagens e desvantagens. De acordo com Cintra e Souza (2018) pode-se destacar como principais vantagens para a implantação dos sistemas fotovoltaicos: A sustentabilidade, visto que esta é uma energia limpa, o que diminui a emissão de gases poluentes; O recurso é inesgotável e gratuito, pois tem como fonte primária o sol; possui um sistema de fácil instalação e de vida útil prolongada, sendo seu tempo de manutenção de aproximadamente 25 anos; possibilita fazer a expansão do sistema a qualquer momento, adicionando novos painéis; A instalação do sistema ocasiona uma valorização do patrimônio, e o retorno financeiro gerado compensa os gastos iniciais.

Como principais desvantagens podemos citar: O alto valor de investimento inicial, uma vez que a produção das células fotovoltaicas demanda a utilização de tecnologias de ponta; o rendimento do sistema é variável, devido a esta ser diretamente ligada ao clima e a época do ano, assim o bom funcionamento tem grande dependência da temperatura e da incidência solar, e a mortes de pássaros, devido aos espelhos das placas atraírem os pássaros e estes acabarem morrendo devido o reflexo e o calor refletido pelas placas.

5.CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim conclui-se que o dimensionamento do sistema fotovoltaico para uma unidade de recepção de grãos foi elaborado com êxito. Sendo possível confirmar a viabilidade da implantação, pois os resultados obtidos atenderam satisfatoriamente as exigências da unidade.

Com base nos resultados obtidos serão necessários 138 painéis solares, que geraram aproximadamente 75 kWp, que é o necessário para suprir a demanda energética da unidade. O projeto apresentou como investimento inicial, cerca de R\$ 279.238,05, que é um valor intermediário, visto que a unidade utiliza de grandes equipamentos, que possuem alto consumo energético. O tempo de retorno econômico foi de aproximadamente 10 anos, tendo assim mais 15 anos de rentabilidade. Em termos de estrutura foi constatado que as condições físicas do local são adequadas a instalação do sistema dimensionado.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Eliane *et al.* **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**. 2016. 13 f. TCC (Doutorado) - Curso de Eng. Biogenética, Universidade Fumec, Belo Horizonte-Mg, 2016. Disponível em: <http://201.48.93.203/index.php/eol/article/view/3574>. Acesso em: 08 set. 2022.

ABNT, Norma Brasileira - Instalações Elétricas de Baixa Tensão NBR 5410:2004 versão corrigida, 2008.

ACADEMIA DO SOL (Espírito Santo). **Dimensionamento para média tensão**. 2022. Disponível em: https://www.googleadservices.com/pagead/aclk?sa=L&ai=DChcSEwjA9aCJwZ_6AhUy5VwKHcPmB00YABABGgJjZQ&ohost=www.google.com&cid=CAESaOD22m-AubB3Z3PP34pQ0Hpc9TyJEVgEwzRtqKHNm8F4sguIY2o9C8fsc24QOOFVMy8jRTFeC2rVlil346c2Cy2aHvnfycRwP3Pkd-gwlCwvs5rDj2c99Tj7w5fVMsLyIKNqk_siZTI9&sig=AOD64_1Xa08YC1BVBw-D0jFOGTDa2qTv-A&q&adurl&ved=2ahUKEwjQ55qJwZ_6AhW8BLkGHS2FD1gQ0Qx6BAgHEAE. Acesso em: 15 set. 22.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL BEN. **Relatório Síntese/Ano Base 2020**. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relatório Síntese BEN 2021 Ano Base 2020.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2022.

ANEEL. Romeu Donizete Rufino. Agência Nacional de Energia Elétrica (org.). **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687**. 2015. Disponível em: http://www.bioenergiaengenharia.com.br/RESOLUCAO%20NORMATIVA%20REN%20687_2015.pdf. Acesso em: 01 set. 2022.

CINTRA JÚNIOR, Anizio; SOUZA, Igor Meneses de. **CÉLULAS FOTOVOLTAICAS: O FUTURO DA ENERGIA ALTERNATIVA**. 2018. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia - Faceg, Goianésia, 2018.

BLUESOL, Efeito Fotoelétrico e Efeito Fotovoltaico: Entenda Qual É Geração de Energia Elétrica. 2022. Bluesol energia solar. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/efeito-fotoeletrico-fotovoltaico/>. Acesso em: 08 ago. 2022.

GINVERTER. **INVERSOR SOLAR FOTOVOLTAICO ON GRID GROWATT**. 2022. Disponível em: <https://www.aldo.com.br/produto/73047-3/inversor-solar-fotovoltaico-on-grid-growatt-max75kti3-lv-75kw-trifasico-380v-7mppt-14-entradas-monitoramento>. Acesso em: 19 set. 2022.

GUEDES, J. C. S. Manual de tarifação de energia elétrica. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2011. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20de%20Tarif%20En%20EI%20-%20Procel_EPP%20-%20Agosto-2011.pdf>. Acesso em: 10 set. 2014.

PORTAL SOLAR, fontes de energia – Conheça os tipos de fontes energéticas. 2021. Portal Solar. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/fontes-de-energia-conheca-origem-da-energia>. Acesso em: 06 set. 2022.

PORTAL SOLAR, História e origem da Energia Solar. 2022. Portal Solar. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/historia-e-origem-da-energia-solar>. Acesso em: 05 set. 2022.

PINHO, JOÃO TAVARES. (Rio de Janeiro). Cepel - Cresesb (org.). **Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cresesb, 2014. 530 p. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/downloads/livro-manual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2022.

SCHOENINGER, Vanderleia; SIQUEIRA, Saúde e segurança no trabalho em unidades armazenadoras de grãos no Estado do Mato Grosso do Sul. **Realização**, [S.L.], v. 6, n. 12, p. 05-15, 19 dez. 2019. Universidade Federal de Grande Dourados. <http://dx.doi.org/10.30612/re-ufgd.v6i12.10462>.

SILVA, Pedro Henrique Tronco *et al.* **ESTUDO DE PERDAS EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**. 2018. 21 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia de Energia, Uniara, Araraquara, 2018. Disponível em: https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_pedrohenriquetronco_04dez2018.doc__3.pdf. Acesso em: 30 set. 2022.

PEROZA, Josiane. **CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE DISTINTAS TECNOLOGIAS A PARTIR DE ENSAIOS COM SIMULADOR SOLAR E ILUMINAÇÃO NATURAL**. 2015. 97 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina-Campus Araranguá, Araranguá, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/164555/TCC%20final%20-%20Josiane%20Peroza.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 set. 22.

PARANÁ. Copel. Companhia Paranaense de Energia. **Sistema de compensação de energia elétrica**. 2022. Disponível em: <https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/poder-publico/micro-e-mini-geracao/>. Acesso em: 08 set. 2022.

WEATHER SPARK (Brasil) (org.). **Clima e condições meteorológicas médias em Jandaia do Sul no ano todo**. 2021. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/29738/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Jandaia-do-Sul-Brasil-durante-o->

ano#:~:text=Em%20Jandaia%20do%20Sul%2C%20o,superior%20a%2033%20%C2%B0C.. Acesso em: 13 ago. 2022.

APÊNDICE 1 – MEMORIAL DE CÁLCULO SIMPLIFICADO

- MÉDIA DIÁRIA.

Os valores utilizados para o cálculo encontram-se na TABELA (2).

$$M_d = \frac{M_m}{30} \quad (1)$$

$$M_d = \frac{5638,75 \text{ kWh}}{30}$$

$$M_d = 187,96 \text{ kWh}$$

- FATOR DE CORREÇÃO.

As tarifas fora de ponta e as tarifas de ponta foram obtidas a partir da fatura de energia, estas que foram de 0,357960 e 1,397090, respectivamente.

$$F_c = \frac{T_{efp}}{T_{ep}} \quad (2)$$

$$F_c = \frac{0,357960 \text{ (R\$)}}{1,397090 \text{ (R\$)}}$$

$$F_c = 0,256$$

- CONSUMO MÉDIO DE PONTA:

Para o cálculo do Consumo médio de ponta utilizou-se a média do consumo de ponta

$$C_{mp} = \frac{M_d}{F_c} \quad (3)$$

$$C_{mp} = \frac{17,2 \text{ kWh}}{0,2562}$$

$$C_{mp} = 67,13 \text{ kWh}$$

- POTÊNCIA DE PICO TOTAL

$$P_p = C_{mp} + C_{mfp} \quad (4)$$

$$P_p = 67,13 \text{ kWh} + 187,96 \text{ kWh}$$

$$P_p = 255,09 \text{ kWh}$$

- HORAS DE PICO DE SOL (HSP)

TABELA - VALORES DE IRRADIAÇÃO A PARTIR DOS ÂNGULOS.

Ângulo	Inclinação	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N	4,86	2,93
Ângulo igual a latitude	24° N	5,09	1,17
Maior média anual	21° N	5,09	1,4
Maior mínimo mensal	37° N	4,95	0,92

FONTE:

Dentre os ângulos, o escolhido foi de 24° N, isto pois este ângulo proporciona ao sistema uma maior hora de sol, visto que o sistema é fixo. Assim o HSP utilizado foi de 5,09.

- POTÊNCIA DE PICO TOTAL

$$P_{pt} = \frac{P_p}{HSP} \quad (5)$$

$$P_{pt} = \frac{255,09 \text{ kWp}}{5,09}$$

$$P_{pt} = 50,11 \text{ kWp}$$

- COEFICIENTES DE PERDA ENERGÉTICAS

Para determinar os coeficientes de perda energéticas, consideramos os seguintes coeficientes de perda.

Tabela 9 - COEFICIENTE DE PERCAS REAIS.

Perdas	Variação máxima	Variação real
Sombreamento	10%	4%
Sujeira	10%	8%
Temperatura °C	20%	15%
Mismatch	2%	2%
Cabeamento CC/CA	1%	1%
Inversores	10%	4%
Total	53%	34%

Fonte: O autor.

Portanto o valor real dos coeficientes de perca utilizado será de 34%.

- FATOR DE DESEMPENHO

$$F_d = 100\% - V_t \quad (6)$$

$$F_d = 100\% - 34\%$$

$$F_d = 66\%$$

$$F_d = 0,66$$

- POTÊNCIA DE PICO REAL

$$P_{pr} = \frac{P_{pt}}{F_d} \quad (7)$$

$$P_{pr} = \frac{50,11 \text{ kWh}}{0,66}$$

$$P_{pr} = 75,92 \text{ kWh}$$

- NÚMERO DE MÓDULOS

A potência dos módulos foi escolhida com base na disponibilidade comercial, assim optou-se por módulos com 550 W de potência.

$$N_m = \frac{P_{pr}}{P_m} \quad (8)$$

$$N_m = \frac{75,92 \text{ kWp}}{0,55 \text{ kWp}}$$

$$N_m = 138 \text{ módulos}$$

Portanto será necessário a utilização de 138 painéis fotovoltaicos.

- CALCULO DOS DISJUNTORES.

Para o cálculo dos disjuntores foi utilizado como corrente nominal máxima para corrente continua um valor de 26,01 A e 120 A para corrente alternadas. Estes valores foram obtidos a partir da ficha técnica dos módulos fotovoltaicos.

Para Corrente continua (CC):

$$D_j = c_{nm} * 1.2 \quad (9)$$

$$D_j = 26,01 \text{ A} * 1.2$$

$$D_j = 31,34 \text{ A} \sim 32 \text{ A}$$

Para corrente alternada (CA):

$$D_j = c_{nm} * 1.2 \quad (9)$$

$$D_j = 120 \text{ A} * 1.2$$

$$D_j = 144 \text{ A} \sim 150 \text{ A}$$

- CALCULO DOS FUSÍVEIS.

Para o cálculo dos fusíveis foi utilizado uma corrente nominal máxima de 31,344 A para corrente contínua e 108 A para corrente alternada. Estes valores foram obtidos a partir da ficha técnica dos módulos fotovoltaicos.

Para corrente contínua (CC):

$$F_u = c_{nm} * 0,9 \quad (10)$$

$$F_u = 26,12 \text{ A} * 0,9$$

$$F_u = 23,5 \text{ A}$$

Para corrente contínua (CA):

$$F_u = c_{nm} * 0,9 \quad (10)$$

$$F_u = 120 \text{ A} * 0,9$$

$$F_u = 108 \text{ A}$$

A partir destes valores é possível escolher um fusível comercial com valor menor do que o encontrado nos cálculos, que no caso será um de 20^a para corrente contínua e um de 100A para corrente alternada.

- TABELA DE DADOS FINAIS.

Tabela 10 - DADOS FINAIS DO DIMENSIONAMENTO.

Dados	Valores
Média Diária (kWh)	78,1
Fator de Correção	0,256
Consumo Médio de Ponta (kWh)	31,6159
Potência de Pico (kWh)	109,71
Horas de Pico de Sol (kWh/m²)	5,09
Potência de Pico Total (kWh)	21,554
Fator de Desempenho	0,66
Variação Total das perdas (%)	34

Potência de Pico Real (kWh)	75,92
Números de Módulos	138
Disjuntores CA (A)	150
Disjuntor CC (A)	32
Fusível CC (A)	20
Fusível CA (A)	100
Cabos CA	70 mm ²
Cabos CC	4 mm ²

FONTE: O autor, 2002.

- TEMPO DE RETORNO (PAYBACK).

$$T_R = \frac{\frac{Gt}{(Pp*30)*Tefp}}{12} \quad (11)$$

$$T_R = \frac{\frac{334.629,41}{7652,7*0,357960}}{12}$$

$$T_R = 10,17 \sim 10 \text{ anos e } 2 \text{ meses.}$$