



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**MARCOS FELIPE DE ANDRADE SILVA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE  
GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM PRÉDIOS PÚBLICOS DE FRONTEIRAS-PI**

**FORTALEZA**

**2022**

MARCOS FELIPE DE ANDRADE SILVA

ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE  
GERAÇÃO FOTOVOLTÁICA EM PRÉDIOS PÚBLICOS DE FRONTEIRAS-PI

Monografia apresentada ao Curso de  
Graduação em Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal do Ceará, como  
requisito parcial para a aquisição do  
título de Bacharel em Engenharia  
Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar  
Marques de Carvalho

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S581e Silva, Marcos Felipe de Andrade.

Estudo de Viabilidade para a Implantação de um Sistema de Geração Fotovoltaica em Prédios Públicos de Fronteiras-PI / Marcos Felipe de Andrade Silva. – 2022.

104 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho.

1. Sistema Fotovoltaico. 2. Geração Distribuída. 3. Prédios Públicos. 4. Viabilidade Financeira. 5. Pesquisa de Mercado. I. Título.

CDD 621.3

---

MARCOS FELIPE DE ANDRADE SILVA

ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE  
GERAÇÃO FOTOVOLTÁICA EM PRÉDIOS PÚBLICOS DE FRONTEIRAS/PI

Monografia apresentada ao Curso de  
Graduação em Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal do Ceará, como  
requisito parcial para a aquisição do  
título de Bacharel em Engenharia  
Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar  
Marques de Carvalho

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Me. Carlos Gustavo Castelo Branco  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng. Alan Batista de Oliveira

*Aos meus pais, Wilson e Janaína, que me deram as condições e aos meus amigos  
que me deram a força para continuar.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pela dádiva da vida e da inteligência.

Agradeço aos meus pais que me deram uma excelente criação, provendo tudo que foi necessário à minha formação como indivíduo, sem eles essa conquista não seria possível.

Agradeço aos meus amigos, que estiveram comigo nos momentos de alegria e de tristeza, onde foram essenciais para que eu me mantivesse firme nessa jornada.

Agradeço ao PETEE que nos 3 anos em que fui bolsista aprendi lições valorosas de disciplina, organização e principalmente de companheirismo, além de me dar um lugar seguro e uma família.

Agradeço ao professor Paulo Carvalho que aceitou me orientar neste, ao professor Carlos Gustavo e ao engenheiro Alan Batista, que aceitaram participar da banca avaliadora, contribuindo para as melhorias necessárias no projeto.

Agradeço ao DEE que me forneceu as ferramentas para que eu me tornasse um profissional qualificado e aos professores que me municiaram com as capacidades técnicas para seguir o meio profissional.

Deixo também um agradecimento especial aos meus grandes amigos Fefo, que acompanhou à distância os momentos de crise, escutando todas as histórias e me auxiliando a seguir o caminho mais lógico, Caiondes que esteve ao meu lado ouvindo meus conselhos, me ajudando em momentos chave da graduação e sendo um pessoal sensacional de se conviver, além do meu grande amigo de infância André, que está presente em algumas das minhas melhores histórias e lembranças.

## RESUMO

O presente trabalho avalia a viabilidade, do ponto de vista técnico e financeiro para a implantação de um sistema fotovoltaico (FV) ligado à rede que seja capaz de suprir a demanda de energia elétrica de dois prédios públicos, sendo um deles a sede da prefeitura municipal e o outro, um colégio, localizados em Fronteiras, município do estado do Piauí. O estudo se faz pela análise do sistema gerador, apresentando os componentes chave para o seu funcionamento, como módulos FV, inversores, elementos de proteção do sistema entre outros, diante de dois cenários possíveis para a implementação do sistema FV, além de uma pesquisa real de mercado, com o intuito de avaliar os preços praticados por empresas do setor de geração FV, atuantes no estado do Piauí. No Caso I é proposta a implementação de dois sistemas FV independentes, um para cada UC, já o Caso II propõe a instalação de um único sistema FV, capaz de suprir a demanda de energia elétrica das duas UCs, através do sistema de compensação de energia elétrica. O estudo foi pautado na Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL, além das Normas Técnicas nº 0.20 e nº 0.21, da Equatorial Distribuidora do Piauí. Em seguida, utilizando o software de simulação *PVSyst 7.2*, foi possível obter dados referentes à geração de energia elétrica para ambos os casos. Para o Caso I, foram dimensionados dois sistemas FV, um com 6,6 kWp de potência instalada, capaz de suprir a demanda da prefeitura e o outro com potência de 14,3 kWp, para suprir a demanda do colégio. Para o Caso II, foi dimensionado um único sistema FV, com 20,9 kWp de potência, capaz de suprir a demanda das duas UCs. Em seguida, foi feita a análise financeira para os dois casos, o que resultou em um investimento inicial de R\$ 111.103,30, com retorno do investimento em 3,32 anos, para o Caso I e investimento inicial de R\$ 96.145,00 com o retorno do investimento em 2,86 anos. O valor presente líquido (VPL) ao final de 25 anos foi de R\$ 362.911,58, para o Caso I e R\$ 396.651,84, para o Caso II. A taxa interna de retorno (TIR) foi de 33% para o Caso I e 38% para o Caso II. Além disso, o retorno sobre o investimento (ROI) foi de 1130% para o Caso I e de 1380% para o Caso II. Essas análises indicam que os sistemas propostos são viáveis em ambos os casos.

**Palavras-chave:** Sistema Fotovoltaico; Geração Distribuída; Prédios Públicos; Viabilidade Financeira; Pesquisa de Mercado.

## ABSTRACT

The present work evaluates the feasibility, from a technical and financial point of view, for the implementation of a photovoltaic (PV) on-grid system that is capable of supplying the electricity demand of two public buildings, one of which is the seat of the municipal town hall and the other, a school, located in Fronteiras, a municipality in the state of Piauí. The study is carried out by analyzing the generator system, presenting the key components for its operation, such as PV modules, inverters, system protection elements, among others, in view of two possible scenarios for the implementation of the PV system, in addition to a real research market, in order to assess the prices charged by companies in the PV generation sector, operating in the state of Piauí. In Case I, the implementation of two independent PV systems is proposed, one for each CU, whereas Case II proposes the installation of a single PV system, capable of supplying the electricity demand of the two CUs, through the energy compensation system. electric. The study was based on ANEEL's Normative Resolution N°. 482/2012, in addition to Technical Standards N°. 0.20 and N°. 0.21, of Equatorial Distribuidora do Piauí. Then, using the simulation software PVSyst 7.2, it was possible to obtain data regarding the generation of electric energy for both cases. For Case I, two PV systems were designed, one with 6.6 kWp of installed power, capable of supplying the city hall's demand, and the other with a power of 14.3 kWp, to supply the school's demand. For Case II, a single PV system capable of supplying the demand of the two CUs was designed. Then, the financial analysis was carried out for the two cases, which resulted in an initial investment of BRL 111,103.30, with a return on investment in 3.32 years for Case I and an initial investment of BRL 96,145.00 with a return on investment in 2.86 years. The net present value (NPV) at the end of 25 years was BRL 362,911.58 for Case I and BRL 396,651.84 for Case II. The internal rate of return (IRR) was 33% for Case I and 38% for Case II. Furthermore, the return on investment (ROI) was 1130% for Case I and 1380% for Case II. These analyzes indicate that the proposed systems are viable in both cases.

**Keywords:** Photovoltaic System; Distributed Generation; Public Buildings; Financial Viability; Market Research.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz Elétrica Brasileira em 2022.....	17
Figura 2 - Evolução da composição de capacidade instalada total por fonte. ....	18
Figura 3 - Esquemático de um Sistema FV Isolado. ....	23
Figura 4 - Esquemático de um Sistema FV Conectado à Rede .....	24
Figura 5 - Configuração de Modulo Monocristalino e Policristalino. ....	25
Figura 6 - Modelo de Etiqueta Padrão para Módulos FV. ....	26
Figura 7 - Característica de Tensão e Corrente em Associações de Módulos FV, série e paralelo respectivamente. ....	27
Figura 8 - Inversor de 7kW modelo S5-GR1P7K da marca Solis. ....	28
Figura 9 - String Box Clamper Solar SB.....	30
Figura 10 - Procedimentos e Etapas de Acesso .....	35
Figura 11 - Medidor Bidirecional Nansen Vector 3 .....	37
Figura 12 - Sistema de Compensação de Energia.....	38
Figura 13 - Localização de Fronteiras no Estado do Piauí.....	40
Figura 14 - Visão Superior do Colégio Nossa Senhora de Fátima.....	42
Figura 15 - Fatura de energia recente do colégio.....	43
Figura 16 - Visão Superior da Sede da Prefeitura Municipal de Fronteiras/PI.....	46
Figura 17 - Fatura de energia recente da prefeitura.....	47
Figura 18 - Variação de Irradiação Solar ao Longo do Ano em Fronteiras/PI.....	51
Figura 19 - Variação de Precipitação de Chuvas o Longo do Ano em Fronteiras/PI.....	51
Figura 20 - Irradiação solar anual média para cidade de Fronteira/PI.....	56
Figura 21 - Traçado da linha do horizonte para simulação .....	56
Figura 22 - Propriedade dos módulos e configurações da instalação.....	57
Figura 23 - Resultado da simulação para o sistema FV do colégio.....	58
Figura 24 - Resultado da simulação para o sistema FV da prefeitura.....	58
Figura 25 - Resultado da simulação para o sistema FV conjunto .....	72
Figura 26 - Fluxo de caixa estimado no período de 25 anos para o Caso I .....	86
Figura 27 - Variação do VPL ao longo do período de 25 anos para o Caso I .....	87
Figura 28 - Variação do payback simples ao longo de 25 anos para o Caso I.....	88
Figura 29 - Fluxo de caixa estimado no período de 25 anos para o Caso II .....	91
Figura 30 - Variação do VPL ao longo do período de 25 anos para o Caso II .....	92

Figura 31 - Variação do payback simples ao longo de 25 anos para o Caso II.....92

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Médias Mensais de Temperaturas Mínimas e Máximas e de Precipitações de Chuva.....	41
Tabela 2 - Dados Gerais do Colégio Nossa Senhora de Fátima.....	42
Tabela 3 - Padrão de consumo da unidade.....	44
Tabela 4 - Levantamento de Cargas do Colégio.....	45
Tabela 5 - Dados Gerais da Prefeitura.....	46
Tabela 6 - Padrão de consumo da prefeitura.....	48
Tabela 7 - Levantamento de Cargas da Prefeitura.....	49
Tabela 8 - Irradiação Solar diária média mensal em Fronteiras/PI.....	50
Tabela 9 - Potências dos sistemas FV dimensionadas pelos dois métodos utilizados.....	59
Tabela 10 - Geração anual média para os sistemas FV do Caso I.....	62
Tabela 11 - Geração anual considerando decréscimo de rendimento.....	63
Tabela 12 - Interconexão dos módulos para o Caso I.....	70
Tabela 13 - Geração anual média para os sistemas FV do Caso II.....	73
Tabela 14 - Geração anual considerando decréscimo de rendimento.....	74
Tabela 15 - Interconexão dos módulos para o Caso II.....	76
Tabela 16 - IPCA acumulado anual de 2011 a 2021.....	80
Tabela 17 - Taxa SELIC acumulada anual de 2011 a 2021.....	81
Tabela 18 - Custo por unidade de potência baseado na pesquisa de mercado regional.....	82
Tabela 19 - Reembolso Estimado ao Longo de 25 anos para o Caso I.....	84
Tabela 20 - Valores anuais de custos, reembolsos e fluxos de caixa para o Caso I.....	85
Tabela 21 - Reembolso Estimado ao Longo de 25 anos para o Caso II.....	89
Tabela 22 - Valores anuais de custos, reembolsos e fluxos de caixa para o Caso II.....	90
Tabela 23 - Comparativo entre os índices financeiros calculados para cada caso.....	94

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.a – Ao ano

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

a-Si – Silício Amorfo

BT – Baixa Tensão

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CdTe – Telureto de Cádmio

CIGS – Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio

CIS – Disseleneto de Cobre e Índio

CRESESB – Centro de Referência das Energias Solar e Eólica Sergio de S. Brito

c-Si – Silício Cristalino

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FV – Fotovoltaico

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IPCA – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Comum

MME – Ministério de Minas e Energia

MPP – Ponto de Máxima Potência (Do inglês Maximum Power Point)

MPPT – Seguidor do Ponto de Máxima Potência (Do inglês Maximum Power Point Tracker)

m-Si – Silício Monocristalino

MT – Média Tensão

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

NOCT – Temperatura Nominal de Operação da Célula (Do inglês Nominal Operating Cell Temperature)

PRODIST – Procedimentos de Distribuição

p-Si – Silício Policristalino

REN – Resolução Normativa

SCEE – Sistema de Compensação de Energia Elétrica

SELIC – Sistema Especial de Liquidação e Custódia

SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede SFI – Sistema Fotovoltaico Isolado

Si – Silício

STC – Condições de Ensaio Padrão (Do inglês Standard Test Conditions)

THD – Taxa de Distorção Harmônica (Do inglês Total Harmonic Distortion)

TIR – Taxa Interna de Retorno

UC – Unidade Consumidora

VPL – Valor Presente Líquido

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	17
1.1	Motivação .....	19
1.2	Objetivos.....	20
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	20
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	20
1.3	Metodologia .....	20
1.4	Organização do Trabalho .....	20
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	22
2.1	Os Tipos de Sistemas FV .....	22
<b>2.1.1</b>	<b>Sistemas FV Isolados (SFI) ou Autônomos</b> .....	22
<b>2.1.2</b>	<b>Sistemas FV Conectados à Rede</b> .....	23
2.2	Elementos que Compõe o Sistema FV.....	25
<b>2.2.1</b>	<b>Modulo FV</b> .....	25
2.2.1.1	Associação de Módulos.....	27
<b>2.2.2</b>	<b>Inversores</b> .....	28
<b>2.2.3</b>	<b>Elementos de Proteção</b> .....	29
2.3	Análise Financeira .....	30
<b>2.3.1</b>	<b>Retorno Sobre o Investimento (ROI)</b> .....	30
<b>2.3.2</b>	<b>Fluxo de Caixa</b> .....	31
<b>2.3.3</b>	<b>Valor Presente Líquido (VPL)</b> .....	31
<b>2.3.4</b>	<b>Payback</b> .....	32
<b>2.3.5</b>	<b>Taxa Interna de Retorno (TIR)</b> .....	33
<b>3</b>	<b>PREMISSAS TÉCNICAS E NORMATIVAS</b> .....	34
3.1	Resolução Normativa nº 482/2012 – ANEEL .....	34
<b>3.1.1</b>	<b>Conceitos Preliminares</b> .....	34

<b>3.1.2</b>	<b>Procedimentos para Viabilização de Acesso</b> .....	35
<b>3.1.3</b>	<b>Sistema de Medição</b> .....	35
3.1.3.1	Medidor Bidirecional .....	36
<b>3.1.4</b>	<b>Sistema de Compensação de Energia</b> .....	37
<b>3.1.5</b>	<b>Normas Técnicas NT.020 e NT.021 – Equatorial Piauí</b> .....	38
3.1.5.1	Requisitos Técnicos e Operacionais .....	39
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO – FRONTEIRAS/PI</b> .....	40
4.1	Características Geográficas .....	40
4.2	Dados Gerais de Cada Unidade Consumidora.....	41
<b>4.2.1</b>	<b>Colégio Nossa Senhora de Fátima</b> .....	41
4.2.1.1	Estrutura Elétrica .....	43
<b>4.2.2</b>	<b>Sede da Prefeitura Municipal de Fronteiras/PI</b> .....	45
4.2.2.1	Estrutura Elétrica .....	46
<b>4.2.3</b>	<b>Análise da Irradiação Solar</b> .....	49
<b>5</b>	<b>ANÁLISE TÉCNICA</b> .....	53
5.1	Módulo FV Escolhido.....	53
5.2	Dimensionamento do Sistema FV – Caso I.....	54
<b>5.2.1</b>	<b>Determinação da Quantidade de Módulos FV</b> .....	59
<b>5.2.2</b>	<b>Escolha dos Inversores</b> .....	60
<b>5.2.3</b>	<b>Geração do Sistema</b> .....	61
<b>5.2.4</b>	<b>Interconexão dos Módulos FV</b> .....	64
5.2.4.1	Interconexão dos Módulos FV – Prefeitura .....	65
5.2.4.2	Interconexão dos Módulos FV – Colégio .....	68
5.3	Dimensionamento para o caso II .....	70
<b>5.3.1</b>	<b>Determinação da Quantidade de Módulos FV</b> .....	72
<b>5.3.2</b>	<b>Escolha dos Inversores</b> .....	72
<b>5.3.3</b>	<b>Geração do Sistema</b> .....	73

5.3.4	<b>Interconexão dos Módulos FV</b> .....	75
5.4	Sistema de Proteção .....	76
5.4.1	<b>Dimensionamento do Quadro de Proteção CC – <i>String box</i></b> .....	76
5.4.2	<b>Dimensionamento do Quadro de Proteção CA</b> .....	78
6	<b>ANÁLISE FINANCEIRA</b> .....	79
6.1	Índices Financeiros.....	79
6.1.1	<b>Inflação</b> .....	79
6.1.2	<b>Taxa Mínima de Atratividade</b> .....	80
6.2	Custos para Implementação do Sistema.....	81
6.2.1	<b>Avaliação de Mercado</b> .....	82
6.2.2	<b>Outros Custos</b> .....	83
6.3	Análise Financeira – Caso I.....	83
6.3.1	<b>Fluxo de Caixa</b> .....	83
6.3.2	<b>Valor Presente Líquido (VPL)</b> .....	86
6.3.3	<b><i>Payback</i> Simples</b> .....	87
6.3.4	<b>Taxa Interna de Retorno (TIR) e ROI</b> .....	88
6.4	Análise Financeira – Caso II.....	88
6.4.1	<b>Fluxo de Caixa</b> .....	88
6.4.2	<b>Valor Presente Líquido (VPL)</b> .....	91
6.4.3	<b><i>Payback</i> Simples</b> .....	92
6.4.4	<b>Taxa Interna de Retorno (TIR) e ROI</b> .....	93
6.5	Avaliação dos Resultado .....	93
7	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	95
8	<b>SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS</b> .....	97
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	98

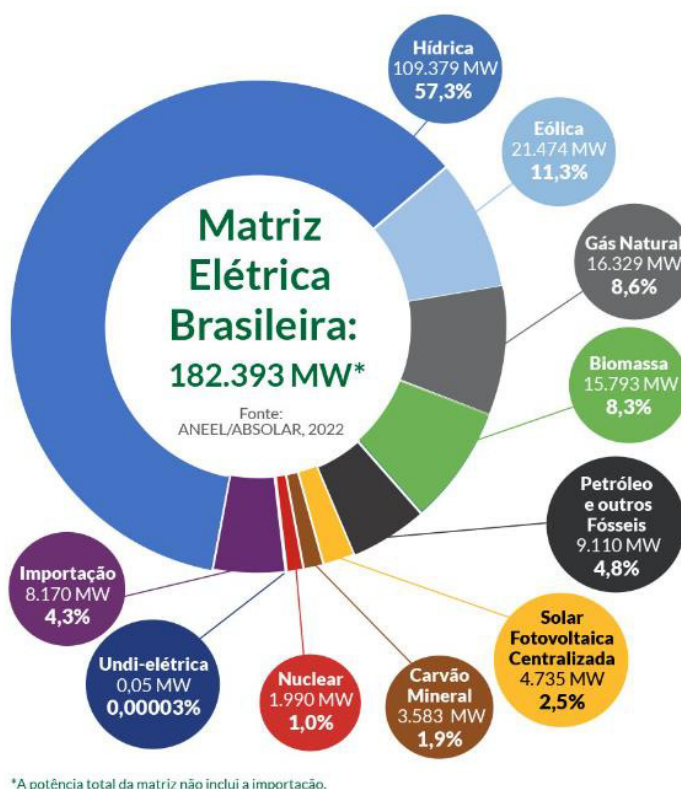


## 1 INTRODUÇÃO

A atual matriz elétrica brasileira se encontra em um patamar considerado sustentável por usar em sua maior parte o potencial hidroelétrico, que é considerada, em termos absolutos, uma fonte limpa. Mas existem parâmetros que medem a robustez e confiabilidade de determinado sistema elétrico, tendo a variabilidade de formas de geração, um importante papel no aumento da confiabilidade desse sistema.

Segundo o relatório da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e através do Balanço Energético Nacional (BEN), a geração hidroelétrica representa, em 2022, 57,3% de um total de 182.393 MW, conforme mostrado no infográfico nº41 da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Matriz elétrica Brasileira em 2022.



Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2022

Nesse contexto, a pesquisa e implementação de diferentes formas de geração tem papel essencial no aprimoramento dessa confiabilidade, já que mais da metade de toda a geração de eletricidade no Brasil é hídrica, o que leva o país a depender de

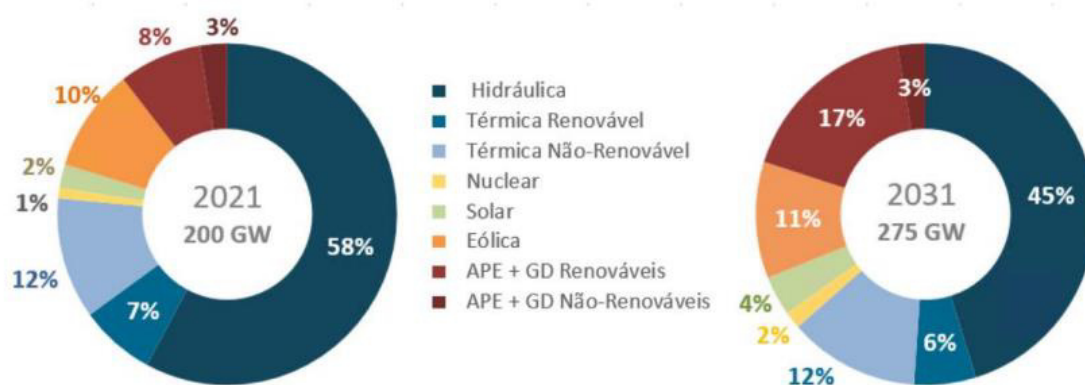
períodos chuvosos regulares, o que não se prova tão confiável no país, que apresenta longos períodos de estiagem em determinados intervalos de tempo.

De acordo com o Plano Decenal de Expansão Elétrica 2031, publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), espera-se que o PIB e o comércio mundial cresçam, respectivamente, em média 3,3% a.a. e 3,9% a.a. no período 2021-2031 (MME; EPE, 2022). Já no contexto nacional, o PIB brasileiro deve apresentar um crescimento médio de 2,9% anuais entre 2021 e 2031 (MME; EPE, 2022).

Para que essa expansão econômica aconteça é necessário alicerçar os principais setores da economia. Energia é um insumo fundamental para a atividade econômica. A intensidade energética é um indicador que descreve a necessidade de energia de uma determinada economia para prover bens e serviços, e é calculada pela razão entre a oferta interna de energia e o Produto Interno Bruto (PIB) em um período, como um ano. (MME; EPE, 2022).

Para que o setor energético brasileiro comporte e suporte essa expansão econômica constante ao longo dos próximos anos é necessário que ele evolua junto, sempre buscando respeitar o desenvolvimento sustentável e sustentabilidade pode ser a palavra chave na resolução dessa equação. De acordo com o Plano Decenal de Expansão Elétrica 2031 a capacidade instalada no país deve saltar de 200 GW para 275 GW um aumento de 37,5 %, como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 - Evolução da composição de capacidade instalada total por fonte.



Fonte: MME; EPE, 2022

Segundo a Figura 2, avalia-se que as fontes que percentualmente terão maior crescimento serão nuclear, solar e as formas de autoprodução e geração distribuída, essas tendo em sua grande maioria, a geração FV alavancada por incentivos fiscais

aplicados nos últimos anos a microgeração cuja capacidade instalada não supere 75 kW e minigeração, entre 75 kW e 3 MW de capacidade instalada (ANEEL, 2016).

Dentre as alternativas, a geração solar se mostra como uma das mais promissoras, tendo em vista que se trata de uma fonte inesgotável devido a escala de tempo da vida no planeta Terra (PEREIRA et al., 2017). Esse modelo de autoprodução, somado a geração solar vai representar aproximadamente 21% da geração de eletricidade brasileira. Sendo assim, o momento para a geração solar FV é bastante favorável no médio e longo prazo.

## **1.1 Motivação**

O Piauí é um estado que historicamente sofre tanto no cenário econômico quanto social. Segundo relatório das cidades disponibilizado pelo IBGE, o Piauí é apenas o 23º estado da federação no rank de rendimento nominal per capita, que indica a média de poder de compra da população do estado. Quando se fala em índice de desenvolvimento humano (IDH), o Piauí ocupa uma posição ainda menor, 24º, entre os 27 estados somados ao DF. Fronteiras é um município do estado do Piauí, que em sua história já chegou a ocupar o 3º lugar no ranking de PIB per capita do estado, mas atualmente ocupa apenas a 76º posição (IBGE, 2019). Nesse contexto de dificuldades econômicas e sociais, a cidade, como será visto a frente, apresenta uma importante fonte de geração de eletricidade, através da geração FV, proveniente dos altos níveis de irradiação solar e baixa pluviosidade anual. Com isso, o atual trabalho se faz necessário para quantificar esse potencial solar, definindo o que de fato pode ser transformado em eletricidade, através de um estudo de viabilidade técnica e financeira de um sistema de geração FV para o abastecimento de prédios públicos do município, com o intuito de diminuir o consumo proveniente da rede de distribuição, promovendo o uso de uma fonte alternativa de geração e contribuindo para o desenvolvimento sustentável local e de sua matriz elétrica.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem como finalidade o estudo da viabilidade técnica e financeira de um sistema FV ligado à rede em prédios públicos de Fronteiras, uma cidade localizada no extremo leste Piauí.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos elencam-se:

- Compreender e desenvolver o referencial teórico relacionado à geração FV em um sistema ligado à rede de distribuição;
- Avaliar o consumo de energia elétrica das unidades consumidoras escolhidas, para assim dimensionar o sistema a ser implementado;
- Analisar todas as questões legais e técnicas relacionadas às normas e condições para a implementação do sistema;
- Avaliar, do ponto de vista técnico e financeiro, se o sistema dimensionado é viável para sua implementação.

## **1.3 Metodologia**

A metodologia aplicada nesse trabalho consiste em uma revisão bibliográfica sobre os temas relacionados a geração FV, avaliação dos limites normativos para a implementação do sistema, dimensionamento do sistema baseado no consumo e limitações estruturais dos locais escolhidos para a instalação do sistema em dois cenários possíveis, avaliando cada caso para a avaliação qualitativa da efetiva viabilidade do projeto, estimando os custos iniciais para implementação do sistema FV através de uma pesquisa regional de mercado.

## **1.4 Organização do Trabalho**

Além da introdução onde já foram tratados a motivação e breve metodologia do trabalho, o estudo será disposto em capítulos da seguinte forma:

Capítulo 2: Síntese de conceitos e referências que embasem os estudos sobre geração solar FV, mostrando os modelos mais usados na atualidade.

Capítulo 3: Análise das regulamentações técnicas acerca da geração FV distribuída a nível nacional e estadual.

Capítulo 4: Estudo do consumo atual, potência instalada para determinação da demanda de energia, além da descrição geográfica e técnica dos locais onde será implementado o projeto.

Capítulo 5: Descrição do sistema de geração FV capaz de suprir a demanda calculada, para dois cenários possíveis, nomeados Caso I e Caso II.

Capítulo 6: Apresentação dos resultados de viabilidade financeira pautados nas principais métricas de avaliação financeira, para os dois casos.

Capítulo 7: Conclusão do trabalho mostrando a síntese do estudo e resultados para a problemática proposta.

Capítulo 8: Sugestões para trabalhos futuros.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Apesar de o Brasil dominar a tecnologia de geração de energia elétrica por fontes hidráulicas, a forte dependência do país a este tipo de fonte tem demonstrado, nos últimos anos, suas consequências. A não execução dos projetos de ampliação da matriz elétrica, aliada aos longos períodos de estiagem sob as importantes bacias hidrográficas do país, trouxeram ao racionamento energético e aumento da tarifa de energia elétrica aos consumidores finais (MIRANDA, 2016).

Nesse contexto, diversificar a matriz energética do país se mostra não apenas uma alternativa, mas uma necessidade. A partir disso a geração FV se prova uma opção muito interessante. O Brasil já tem um grande potencial para geração FV, em particular na região nordeste, que devido a sua localização geográfica, apresenta um grande potencial para geração FV. O Nordeste brasileiro tem como forte característica a abundante incidência de irradiação solar sobre os nove estados da região. Com o aumento da geração FV na região, o crescimento econômico e sustentável também se torna uma tendência. De acordo com o Operador Nacional do Sistema (ONS), o Nordeste atingiu uma nova marca na geração FV, no final de outubro de 2021, onde em dois momentos, a geração FV foi responsável por abastecer 21,3% de toda a demanda de eletricidade da região (Portal Solar, 2022).

### **2.1 Os Tipos de Sistemas FV**

Os sistemas FV classificam-se quanto a sua utilização, podendo ser utilizados tanto de forma isolada quanto conectados à rede de distribuição de energia. A aplicação de cada um dependerá do local de instalação e do objetivo do sistema (MELO, 2021).

#### **2.1.1 Sistemas FV Isolados (SFI) ou Autônomos**

São sistemas que não estão ligados à rede, seja por dificuldades geográficas, técnicas ou uma escolha de projeto. São utilizados, entre outras aplicações, como uma alternativa para regiões sem acesso à energia elétrica da rede, onde não se compensa estender a rede elétrica devido aos custos de instalação e/ ou baixa demanda a ser atendida (TIRAPELLE; MURA; FRAZÃO, 2013).

Para utilização plena desse tipo de sistema são usados um ou mais elementos armazenadores de energia, sendo o mais comum, o uso de um banco de baterias. Isso se dá ao fato de o sistema não estar desligado da rede, logo, durante o dia, onde os painéis estão recebendo irradiação solar e gerando energia elétrica, as baterias são carregadas, já a noite, onde a geração não é possível essas baterias são usadas para alimentar a unidade consumidora.

Além do banco de baterias, deve ser instalado um controlador de carga, para equilibrar o uso da energia e promover um aumento na vida útil do elemento armazenador de carga (ARAÚJO; RANK; BUENO, 2016). Esse sistema está exemplificado na Figura 3.

Figura 3 - Esquemático de um sistema FV isolado.



Fonte: CSR Energia Solar, 2022.

### 2.1.2 Sistemas FV Conectados à Rede

Também chamados de sistemas FV *on-grid*, são sistemas que não necessitam de uma unidade armazenadora de energia, já que eles estão conectados à rede de distribuição local. Nesse modo o sistema é conectado em paralelo à rede de distribuição, e tem o intuito de reduzir ou eliminar os gastos provenientes do consumo da unidade, já que durante o dia em que houver incidência solar o sistema estará gerando eletricidade, e dessa forma gerando “créditos” de consumo, para quando não houver sol o sistema ser abastecido pela rede de distribuição, consumindo esses

“créditos”, assim, se o sistema for bem dimensionado, é possível zerar o consumo de eletricidade advindo da rede de distribuição.

Por se tratar de um modelo que dispensa o uso de unidade de armazenamento, esse tipo de sistema é mais barato, sendo assim mais comum, além disso tem sido bastante utilizado como uma opção de geração para ambientes urbanos que apresentam uma rede de distribuição de energia bem definida.

Os sistemas FV *on-grid* dispõem de um medidor bidirecional para fazer a leitura do fluxo de energia diferente dos medidores convencionais, pois além de medir a energia advinda da rede consumida por uma unidade consumidora (UC), ele também é responsável por medir a quantidade de energia injetada na rede advinda do gerador FV. Além do medidor bidirecional também fazem parte desses sistemas, o módulo e o inversor (ALBUQUERQUE, 2020). A Figura 4 exemplifica esse tipo de sistema.

Figura 4 - Esquemático de um sistema FV conectado à rede



Fonte: BRC Energia Limpa, 2022.

Neste trabalho será feita a análise de viabilidade técnica e financeira para sistemas FV *On-Grid*, sendo assim, os elementos que compõe o sistema serão estudados para esse tipo de sistema. Vale também ressaltar que as análises normativas também serão feitas para esse tipo de sistema.



## 2.2 Elementos que Compõem o Sistema FV

### 2.2.1 Módulo FV

Um módulo FV é composto por um determinado número de células fotovoltaicas e as especificações técnicas de cada módulo dependerão da forma com que essas células estarão dispostas no módulo.

A célula fotovoltaica é a principal responsável pela conversão da irradiação solar em eletricidade. Dentre as tecnologias mais utilizadas na fabricação de células FV, a que domina a produção no mercado é a que tem como material base o Silício, o qual é classificado de acordo com sua estrutura molecular, podendo ser Monocristalino (*m-Si*) ou Policristalino (*p-Si*) (TIRAPELLE; MURA; FRAZÃO, 2013).

A quantidade de células em cada módulo e os arranjos formados pela associação de painéis (*strings*) devem ser organizados de acordo com as características elétricas de tensão e corrente que se deseja obter no sistema (PINHO: GALDINO, 2014).

Os módulos do tipo policristalino são os mais utilizados por serem mais baratos, porém apresentam uma eficiência inferior aos módulos do tipo monocristalino. A quantidade de módulos conectados em série definirá a tensão de operação do sistema, e a corrente será definida pela quantidade de *strings* ligadas em paralelo. A potência instalada é definida pela soma da potência nominal individual dos módulos (RUTHER, 2004).

Figura 5 - Configuração de Módulo Monocristalino e Policristalino.



Fonte: Hepel, 2022.

A célula *m-Si*, por ser formada através da obtenção de um único cristal, possui um processo de fabricação mais caro e demorado, porém alcança uma eficiência média de 16,5% quando produzida industrialmente garantindo uma das maiores eficiências do mercado. Já a célula *p-Si*, apesar de possuir uma menor eficiência do que as células *m-Si* (em média 15% para lâminas comerciais), apresentam custo reduzido em sua produção, o que as tornaram mais convenientes e competitivas no mercado (DIAS, 2017).

Existem outros tipos de tecnologias além das tradicionais, como os dispositivos de filme fino, que embora possuam menor eficiência, são mais flexíveis e permitem maior versatilidade nos sistemas, permitindo a sua utilização em diversas superfícies (SOUZA, 2016).

No Brasil, para que seja utilizado o módulo de determinada fabricante ele precisa passar pela inspeção de qualidade do INMETRO, onde a partir dessa etapa, ele terá o selo da instituição reguladora e em sua etiqueta deverá conter suas características elétricas, eficiência, área ocupada em m<sup>2</sup>, potência média em condição padrão de utilização e capacidade média de geração por mês em kWh/mês, entre outras informações, como está ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Modelo de Etiqueta Padrão para Módulos FV.

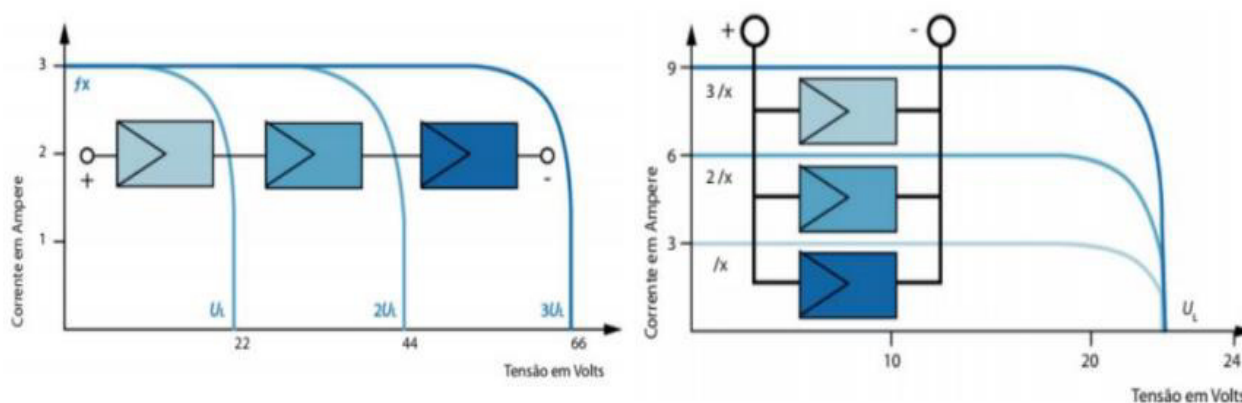


Fonte: Revista Brasileira de Energia Solar, 2010

### 2.2.1.1 Associação de Módulos

Os módulos FV podem ser associados em série ou paralelo. A associação escolhida dependerá dos valores de tensão e potência desejados, além da disponibilidade de espaço na estrutura e verificação de possíveis sombreamentos (ARAÚJO; RANK; BUENO, 2016). Essa associação fornecerá uma saída única de tensão e corrente (PINHO; GALDINO, 2014), que pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 - Característica de Tensão e Corrente em Associações de Módulos FV, série e paralelo respectivamente.



Fonte: Adaptado de Flandoli, 2017

Na associação em série (string), as tensões dos módulos são somadas e a corrente elétrica produzida será a média das correntes geradas se os dispositivos forem idênticos e estiverem sob as mesmas condições. Caso se associem dispositivos que possuam correntes de curto-circuito diferentes, prática não recomendada, a corrente gerada pelo arranjo será limitada pela menor corrente. A ligação física é dada pela conexão do terminal positivo de um módulo no terminal negativo do outro, e assim por diante (PINHO; GALDINO, 2014).

Já na associação em paralelo, as correntes dos módulos são somadas e a tensão final será a média das tensões geradas. A ligação física é dada pela conexão do terminal positivo de um módulo no terminal positivo do outro, assim como o terminal negativo é conectado ao terminal negativo do outro (PINHO; GALDINO, 2014).

### 2.2.2 Inversores

Os módulos FV geram energia elétrica em corrente contínua CC, porém, a energia consumida pelos equipamentos elétricos usuais e a rede de energia disponibilizada pelas concessionárias utilizam corrente alternada CA. Com isso, é necessário utilizar um equipamento eletroeletrônico que realize a conversão de energia de corrente contínua CC em energia de corrente alternada CA a ser disponibilizada para as cargas, esse dispositivo é denominado inversor (ARAÚJO; RANK; BUENO, 2016).

Os inversores para SFCR (Sistemas FV Conectados à Rede), recebem a energia em CC diretamente dos módulos FV. A energia CA na sua saída é colocada diretamente em paralelo com a rede elétrica convencional. Assim, as duas ondas de tensão devem estar em fase e ter características elétricas bastante similares, de modo a possibilitar o paralelismo de geradores (URBANETZ,2010).

Os inversores usados em sistemas *on-grid* usam um sistema eletrônico para copiar as características da rede elétrica ao qual estão conectados, promovendo o sincronismo, assim não operam sem a energização do lado CA, por questões de arranjo construtivo e de segurança (VILLALVA, 2015). A Figura 8, mostra o exemplo de um inversor comercial.

Figura 8 - Inversor de 7kW modelo S5-GR1P7K da marca Solis.



Fonte: Ginglog, 2022

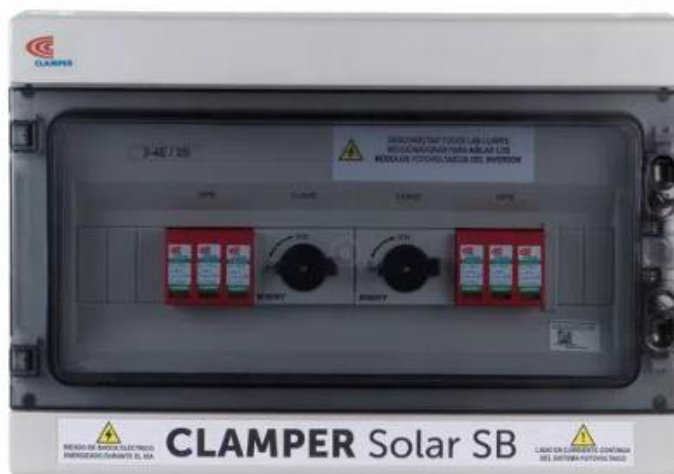
A eficiência de um inversor depende diretamente das perdas em condução e comutação. Por este motivo, é importante que estudos e pesquisas sejam realizados a fim de se obter uma maior compreensão sobre o assunto, para determinar a melhor tecnologia a ser enquadrada em um sistema (ARAÚJO; RANK; BUENO, 2016).

Atualmente, a eficiência dos inversores CC-CA é considerada alta, chegando próximo a 99% em alguns modelos (WEG, 2020). Além disso contam com sistemas de algoritmo MPPT (do inglês, *Maximum Power Point Tracker*), que tem como função operar sempre no ponto de máxima transferência de potência dos painéis para a carga, reduzindo o custo da eletricidade produzida (BORGES NETO e CARVALHO, 2012).

### 2.2.3 Elementos de Proteção

Em todo sistema elétrico é indispensável aplicar elementos responsáveis tanto pela proteção dos componentes elétricos, quanto a integridade física dos seres vivos em torno do sistema, por isso no projeto de uma central FV deve ser prevista a instalação de uma *string box*, que pode ser construída com componentes avulsos ou pode ser adquirida completa no mercado. Essa caixa deve ser protegida contra intempéries, possuindo no mínimo um grau de proteção regulamentado como IP54 (VILLALVA, 2015).

Para aplicações em sistemas ligados a rede a caixa possui entrada em CC, para receber os cabos vindos dos módulos FV e deve contar com fusíveis, chaves seccionadoras CC e DPS, provendo proteção contra surtos de tensão e sobrecorrentes e também garante proteção contra descargas elétricas incidentes sobre módulos FV. A Figura 9, traz um exemplo de uma *string box* comercial.

Figura 9 - *String box clamper solar SB*

Fonte: *Clamper Solar*, 2022

## 2.3 Análise Financeira

Investimento é qualquer gasto ou aplicação de recursos que produza um retorno futuro. Esse conceito envolve tanto dinheiro quanto capital intelectual, social ou natural (Blog Magnetis, 2019).

A análise criteriosa e racional do emprego dos recursos em determinada atividade é primordial para o sucesso dessa ação. Para esta análise, existem algumas metodologias que podem ser aplicadas, como o Valor Presente Líquido (VPL), Retorno sobre Investimento (ROI), Fluxo de Caixa e *Payback* (MELO, 2021). Vale lembrar que existem diversas formas de avaliar um investimento, mas para esse trabalho serão usados estes três índices além da taxa interna de retorno (TIR), outro importante indicador de viabilidade financeira.

### 2.3.1 Retorno Sobre o Investimento (ROI)

O termo ROI vem do inglês *Retun On Investment* que no português é o retorno sobre o investimento. Retorno de Investimento, ROI e taxa de retorno são termos utilizados para definir a relação de lucro ou prejuízo como resultado de um investimento e serve como medida de avaliação do desempenho de um investimento (ASSAF, 2010).

A função do ROI é estipular a quantidade de dinheiro ganha a partir de cada investimento feito para deslançar a operação. É por meio dele que o investidor define qual o ganho, ou perda, obtido para ter algum retorno financeiro, além de cobrir os custos envolvidos na operação (MELO, 2021). O cálculo do ROI se dá pela seguinte equação:

$$ROI = \left( \frac{\text{Lucro} - \text{Investimento}}{\text{Investimento}} \right) \times 100 \quad (2.1)$$

### 2.3.2 Fluxo de Caixa

A quantificação do investimento é um dos pontos principais a serem analisados e demonstrados, e é uma das premissas básicas do investimento. O resultado é uma movimentação traduzida em uma série de entradas e saídas de dinheiro, que é a denominação do termo Fluxo de Caixa (SAMANEZ, 2009).

O objetivo dessa ferramenta é apurar o saldo disponível no momento e projetar o futuro, para que exista sempre capital de giro acessível tanto para o custeio da operação da empresa (folha de pagamento, impostos, fornecedores, entre outros) quanto para os investimentos em melhorias. A estrutura do fluxo de caixa depende da natureza da empresa e das necessidades do empresário. O resultado do fluxo de caixa é o saldo disponível (em dinheiro existente no caixa ou depositado em conta corrente nos bancos etc.), ou seja, a diferença entre o valor total recebido e os pagamentos realizados no mesmo período (SEBRAE, 2022).

### 2.3.3 Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL é um dos Índices mais usados para medir o desempenho de um investimento. Ele é definido como o valor presente das entradas de caixa de um projeto menos o valor presente de seus custos. Em outras palavras, é a diferença entre o valor presente das receitas menos o valor presente dos custos (SAMANEZ, 2009). O VPL pode ser escrito matematicamente da seguinte forma:

$$VPL = \sum_{t=0}^N \frac{FC_t}{(1 + TMA)^t} \quad (2.2)$$

Nessa equação,  $FC_t$  representa o fluxo de caixa em cada intervalo de tempo ( $t$ ) finito. Os valores de  $FC_t$  devem ser representados positivamente para entradas de capital, e negativamente para saídas (custos). Já a ( $TMA$ ) é a taxa de atratividade, e deve ser definida para cada investimento e representa o valor mínimo percentual que se espera de retorno sobre o investimento em questão.

Os indicadores que mostram os resultados para cada valor de VPL encontrados na equação 2.2 são os seguintes:

- $VPL > 0$  indica que o investimento é viável do ponto financeiro, já que o retorno obtido é maior que a taxa de atratividade definida;
- $VPL < 0$  indica que o investimento não é viável do ponto de vista financeiro, já que o retorno obtido é menor que a taxa de atratividade desejada;
- $VPL = 0$  indica que o investimento é viável, mas que os retornos obtidos serão suficientes apenas para cobrir os custos envolvidos no investimento levando em conta a taxa de atratividade desejada.

#### 2.3.4 Payback

O termo *payback* vem do inglês, e significa retorno, recuperação. Esse índice traz uma avaliação do investimento em uma linha temporal, indicando quanto tempo será necessário para recuperar o investimento inicial.

O *payback* mostra ao investidor a estimativa do tempo que será necessário para a recuperação da sua aplicação inicial. Esse período é variável, e depende de muitos fatores, podendo variar de meses a anos, atuando como um avaliador de riscos envolvidos, já que investimentos com um menor tempo de retorno podem ser considerados com um grau de risco menor (SAMANEZ, 2009). A equação que define o *payback* é a seguinte:

$$\sum_{t=0}^T FC_t \geq Investimento \quad (2.3)$$



Onde, T será o tempo necessário para o somatório dos fluxos de caixa no período ( $FC_t$ ) se igualem ao valor do investimento.

### 2.3.5 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma taxa de desconto hipotética, calculada a partir de uma projeção de fluxo de caixa quando consideramos que seu Valor Presente Líquido (VPL) é igual a zero. Na prática, ela é usada por investidores para indicar se um projeto é viável ou não (Warren Magazine, 2021)

Em tese a TIR representa uma taxa de atratividade que zera o VPL, como mostra a Equação 2.4.

$$VPL = \sum_{t=0}^N \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad (2.4)$$

Para avaliar se um investimento é viável através da TIR se consideram os seguintes critérios:

- $TIR > TMA$  (Taxa Média de Atratividade) indica que o investimento é viável do ponto financeiro.
- $TIR < TMA$  indica que o investimento não é viável do ponto de vista financeiro.
- $TIR = TMA$  leva a decisão para os gestores/investidores, já que o projeto está no limite da taxa de atratividade.

### **3 PREMISSAS TÉCNICAS E NORMATIVAS**

#### **3.1 Resolução Normativa nº 482/2012 – ANEEL**

A utilização e implementação de projetos relacionados a geração distribuída no Brasil foi regulamentado em 2012, através da criação do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), onde tornou-se possível ao consumidor brasileiro gerar sua própria energia elétrica por meio de fontes renováveis (GUIMARÃES, 2018). O sistema é descrito na Resolução Normativa (REN) nº 482/2012, a qual juntamente com a seção 3.7 do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST) definem as mínimas condições para a conexão de micro e minigeradores à rede elétrica (ALBUQUERQUE, 2020).

Com o acompanhamento da implementação da REN nº 482/2012 foram identificados diversos pontos de melhoria no que tange a custos, tempo para conexão, compatibilização do SCEE com as condições Gerais de Fornecimento (REN nº 414/2010), entre outros (ANEEL, 2016), o que ocasionou nas revisões e atualizações da REN nº 482/2012 e do módulo 3 do PRODIST através das Resoluções Normativas REN nº 687/2015, REN nº 724/2016 e REN nº 786/2017 (ALBUQUERQUE, 2020).

##### **3.1.1 Conceitos Preliminares**

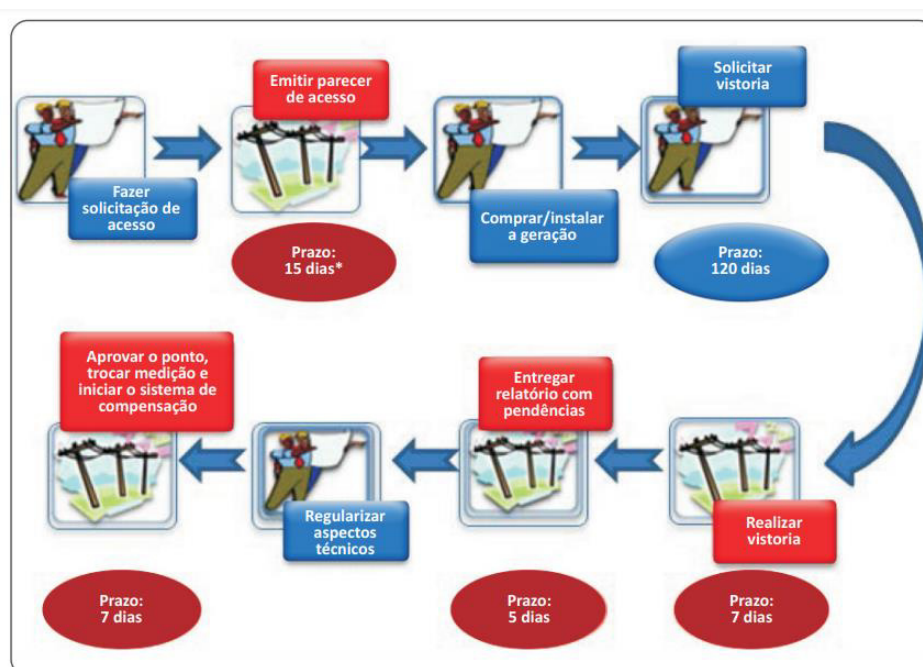
Na alteração feita na REN nº 687/2015, foi definido que microgeração distribuída é uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Já na redação dada pela REN nº 786/2017, ficou decidido que minigeração distribuída é uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

### 3.1.2 Procedimentos para Viabilização de Acesso

Conforme estabelecido na seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST, o procedimento de acesso é simples e rápido, assim como os requisitos de proteção necessários para garantir a segurança das pessoas e a qualidade da energia injetada na rede. A Figura 10 ilustra as etapas e prazos do procedimento de acesso que devem ser seguidos pelo consumidor (destacados em azul) e pela distribuidora (destacados em vermelho) (ANEEL, 2016).

Figura 10 - Procedimentos e Etapas de Acesso



Fonte: Caderno Temático ANEEL – Micro e Minigeração Distribuída, 2016

### 3.1.3 Sistema de Medição

O sistema de medição deve atender às mesmas especificações exigidas para unidades consumidoras conectadas no mesmo nível de tensão da microgeração ou minigeração distribuída, acrescido da funcionalidade de medição bidirecional de energia elétrica (ANEEL, 2016).

### 3.1.3.1 Medidor Bidirecional

A medição da quantidade de energia elétrica consumida pela UC ou excedente injetada na rede de distribuição deve ser realizada por um medidor bidirecional de energia, que em geral é fornecido e instalado pela concessionária de energia no ato da vistoria final da instalação (MELO, 2021).

O medidor realiza em seu circuito interno cálculos simples para definir quanto do fluxo de potência está sendo drenado da rede e quanto está sendo injetado na rede, com o intuito de definir os créditos de consumo ao final de cada ciclo de medição.

$$Potência_{total} = Potência_{gerada} - Potência_{consumida} \quad (3.1)$$

Onde:

- $Potência_{total}$  é o saldo da diferença entre a potência gerada e a consumida;
- $Potência_{gerada}$  é a potência efetivamente gerada pelo sistema FV;
- $Potência_{consumida}$  é o que a unidade consumidora efetivamente consumiu no intervalo de tempo adotado na análise.

Sabendo disso e através da equação 3.1 o medidor pode apresentar, no dia da medição, três resultados possíveis:

- $Potência_{total} > 0$ , indica que a potência gerada pelo sistema FV foi maior que a potência consumida pela UC possibilitando a geração de créditos de consumo;
- $Potência_{total} < 0$ , indica que a potência gerada pelo sistema FV foi menor que a potência consumida pela UC, nesse período a UC estaria consumindo os créditos de consumo;
- $Potência_{total} = 0$ , que a UC consumiu a mesma quantidade de potência gerada.

A distribuidora é responsável por adquirir e instalar o sistema de medição, sem custos para o acessante no caso de microgeração distribuída, assim como pela sua operação e manutenção, incluindo os custos de eventual substituição (ANEEL, 2016).

A Figura 11 traz o exemplo de um medidor bidirecional comercial.

Figura 11 - Medidor Bidirecional *Nansen Vector 3*



Fonte: Salfatis, 2022

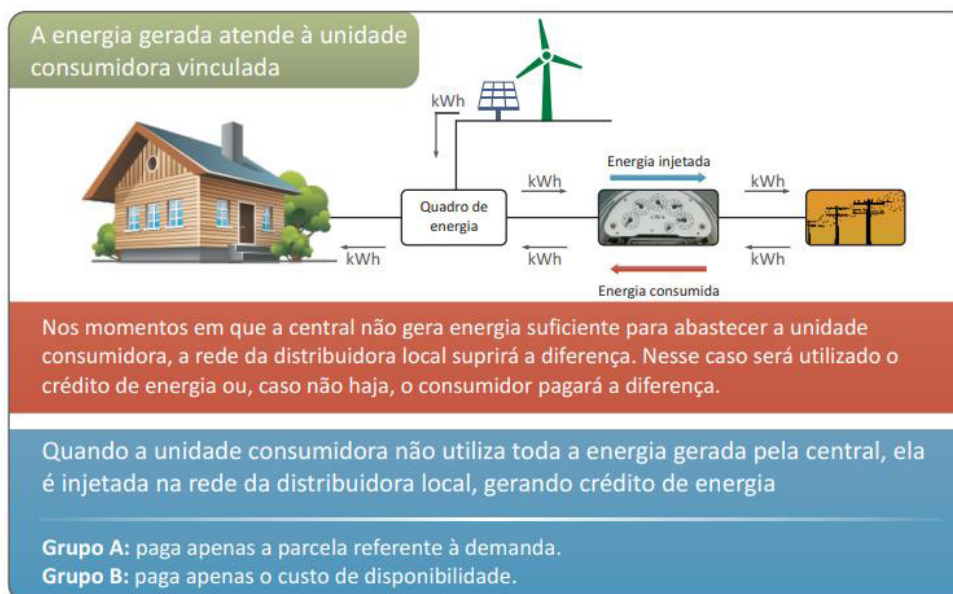
### 3.1.4 Sistema de Compensação de Energia

Quando a eletricidade injetada na rede for maior do que a consumida, no mesmo posto tarifário, é gerado um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida pela UC por um prazo de 60 (sessenta) meses, o qual pode ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário (no caso de consumidores com tarifa horária de ponta e fora ponta) ou na fatura dos meses seguintes. O consumidor também pode utilizar esses créditos em outras unidades previamente cadastradas que estejam na mesma área de concessão, sendo caracterizados como autoconsumo remoto, geração compartilhada ou integrantes de empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras (condomínios), em local diferente do ponto de consumo. O consumidor deve informar o percentual de energia excedente a ser alocado nas demais unidades consumidoras. (ANEEL, 2016).

Importante ressaltar que, para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), ainda que a energia injetada na rede seja superior ao consumo, será devido o pagamento referente ao custo de disponibilidade – valor em reais equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). De forma análoga,

para os consumidores conectados em alta tensão (grupo A) será devida apenas a parcela da fatura correspondente à demanda contratada (ANEEL, 2016). A Figura 12 mostra um infográfico sobre o sistema de compensação de energia.

Figura 12 - Sistema de compensação de energia elétrica



Fonte: Caderno Temático ANEEL – Micro e Minigeração Distribuída, 2016

### 3.1.5 Normas Técnicas NT.020 e NT.021 – Equatorial Piauí

No estado do Piauí, a empresa Equatorial Energia é a responsável pelos sistemas de distribuição de energia. Através das NT.020 e NT.021 ela regulamenta os moldes para aplicações de projetos de geração FV distribuída nos modelos de minigeração e microgeração no estado do Piauí.

A NT.020 e NT.021 aplicam-se exclusivamente aos acessantes com microgeração e minigeração distribuída, respectivamente, de qualquer tipo de fonte de energia renovável ou cogeração qualificada, conectados à rede de distribuição em baixa tensão (BT) ou média tensão (MT) por meio de instalações de unidades consumidoras (UC), enquadradas com ou na rede de distribuição de energia em tensão primária, conforme níveis de tensão do sistema da CONCESSIONÁRIA, o individual, autoconsumo remoto, geração compartilhada e empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras, respectivamente (EQUATORIAL, 2022).

### **3.1.5.1 Requisitos Técnicos e Operacionais**

Os critérios e requisitos técnicos e operacionais descritos neste capítulo são aplicáveis aos sistemas de geração distribuída participantes do sistema de compensação de energia elétrica, conectados à rede elétrica com ou sem a utilização de inversor, em conformidade com o PRODIST Módulo 8 e PRODIST Módulo 3. A conexão à rede de distribuição da CONCESSIONÁRIA, deve ser realizada em corrente alternada, monofásica, bifásica ou trifásica, com frequência de 60 (sessenta) Hz, através de fontes com ou sem utilização de inversor e o acessante é o único responsável pela sincronização adequada de suas instalações com o sistema de distribuição acessado (EQUATORIAL, 2022).

## 4 ESTUDO DE CASO – FRONTEIRAS/PI

O presente estudo tem o intuito de avaliar a viabilidade técnica e financeira para a implementação de um sistema FV conectado à rede para o abastecimento de dois prédios públicos na cidade de Fronteiras, localizada no interior do Piauí.

### 4.1 Características Geográficas

Fronteiras é um município brasileiro do estado do Piauí com área territorial de 777.179 km<sup>2</sup>, população estimada de 11.690 pessoas e situada a 414 km da capital Teresina (IBGE, 2022). A Figura 13 mostra a localização do município no mapa do Brasil.

Figura 13 - Localização de Fronteiras no estado do Piauí



Fonte: Wikipédia, 2022

A cidade que outrora já foi chamada de Lagoa do Rato (1907-1910) e Socorro (1910-1943), tem hoje seu nome em referência direta a sua condição geográfica de fazer fronteira com o estado do Ceará. Já teve a segunda renda per capita do estado, alavancada pela forte produção de cimento e algodão. Localiza-se a



uma latitude 07°05'17" sul e uma longitude 40°36'59" oeste, estando a uma altitude de 426 metros em relação ao nível do mar, é cortada pela BR-230 que liga Picos a Juazeiro do Norte (Wikipédia, 2022). Além disso, tem uma temperatura média mínima anual de 21 °C e máxima média anual de 31 °C, além de uma precipitação de chuva anual média de 59 mm (CLIMATEMPO, 2022). A Tabela 1 mostra essas médias mês a mês.

Tabela 1 - Médias mensais de temperaturas mínimas e máximas e de precipitações de chuvas

<b>Mês</b>	<b>Temperatura Mínima (°C)</b>	<b>Temperatura Máxima (°C)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>
<b>JAN</b>	22°	31°	118
<b>FEV</b>	21°	30°	136
<b>MAR</b>	21°	29°	193
<b>ABR</b>	21°	29°	125
<b>MAI</b>	21°	30°	44
<b>JUN</b>	20°	30°	10
<b>JUL</b>	19°	30°	5
<b>AGO</b>	19°	31°	2
<b>SET</b>	21°	33°	2
<b>OUT</b>	22°	34°	7
<b>NOV</b>	23°	34°	14
<b>DEZ</b>	23°	32°	53

Fonte: Adaptado do relatório de climatologia de Fronteira-PI - CLIMATEMPO, 2022

Esses dados representam o comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano. As médias climatológicas são valores calculados a partir de uma série de dados de 30 anos observados. É possível identificar as épocas mais chuvosas/secas e quentes/frias de uma região (CLIMATEMPO, 2022).

## **4.2 Dados Gerais de Cada Unidade Consumidora**

### **4.2.1 Colégio Nossa Senhora de Fátima**

O primeiro prédio escolhido para o estudo é o maior colégio da cidade, localizado na Avenida Sete de Setembro, número 345, à margem da BR-230. O colégio Nossa Senhora de Fátima é uma unidade de ensino municipal voltada para o

ensino fundamental e conta com uma média de 530 alunos matriculados por ano. A Figura 14, traz no destaque em vermelho, a vista aérea do colégio georreferenciada pelo CNES/Airbus em parceria com o Google Earth.

Figura 14 - Visão superior do colégio Nossa Senhora de Fátima



Fonte: Google Earth, 2022

A Tabela 2 mostra informações complementares sobre a localização, características estruturais e elétricas no prédio onde se pretende instalar o sistema FV.

Tabela 2 - Dados gerais do colégio Nossa Senhora de Fátima

<b>Dados Gerais Colégio</b>	
<b>Latitude</b>	7°05'20.9"S
<b>Longitude</b>	40°37'04.3"O
<b>Inclinação do Telhado</b>	45% (26,74°) Norte
<b>Área do Telhado</b>	2840 m <sup>2</sup>
<b>Tipo do Telhado</b>	Cerâmico
<b>Estrutura do Telhado</b>	Madeira
<b>Tensão de Alimentação</b>	220/380V Trifásico

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2022

#### 4.2.1.1 Estrutura Elétrica

O edifício do colégio é atendido pela rede aérea de média tensão com responsabilidade da Equatorial Distribuidora do Piauí, sendo alimentado por transformador próprio que abaixa a tensão da rede de 13,8 kV para 380/220 V. Além disso a UC é do grupo B e subgrupo B3 (demais classes), ou seja, sua tarifação no consumo de energia é única, independente da hora de utilização e do dia. A Figura 15 mostra uma fatura de energia recente da UC, que traz informações sobre a modalidade tarifária e padrão de consumo da UC. Vale ressaltar que algumas informações foram omitidas da fatura a pedido do administrador da UC.

Figura 15 - Fatura de energia recente do colégio.

Emissão		Data Leitura Anterior	Data Leitura Atual	Data Próxima Leitura	Dias de Consumo	Apresentação	Mês Faturado
06/05/2022		04/04/2022	04/05/2022	02/06/2022	30	03/05/2022	05/2022
Classe / Subclasse		Ligação	Tensão / Modalidade Tarifária		Poste	Forma Faturamento	Nº / Motivo FD
Ppub. Municipal		Trifásica	B3 Outros			Normal	
Consumo		Medidor	Leit. Atual	Leit. Anterior	Constante Fatur.	NPL	Cons. Medido
		D212999	73079	69147	1,00000	5	3932
							Cons. Faturado
							3932

Histórico	kWh	Composição da Tarifa (R\$)	Itens Faturados	Tar. sem Impostos(R\$)	Valor (R\$)
04/2022	5448	TUSD (*)	Consumo 3.932 kWh a 0,961556	0,680106	3.780,83
03/2022	2168	TE (*)	Contrib. Iluminação Pública Municipal (COSIP)		100,69
02/2022	697	Transmissão	Correção Monetária Ipca/Igpm 01/22-00		14,67
01/2022	998	Encargos	Correção Monetária Ipca/Igpm 02/22-00		9,27
12/2021	1828	Tributos	Correção Monetária Ipca/Igpm 03/22-00		7,64
11/2021	1944				
10/2021	1565				
09/2021	1293				
08/2021	1156				
07/2021	1092				
06/2021	1138				
05/2021	854		Adicional Bandeira Vermelha - 202,14		7,06
Média		Pis 0,5548% R\$ - 15,31			
12 meses	1681	Cofins 2,5552% R\$ - 70,52			

Fonte: Equatorial PI, 2022

A Tabela 3 mostra em destaque o padrão de consumo da UC, com histórico de consumo dos meses de junho de 2021 até maio de 2022.

Tabela 3 - Padrão de consumo da unidade.

<b>Mês/Ano</b>	<b>Consumo (kWh)</b>
<b>mai/22</b>	3932
<b>abr/22</b>	5448
<b>mar/22</b>	2168
<b>fev/22</b>	697
<b>jan/22</b>	998
<b>dez/22</b>	1928
<b>nov/21</b>	1944
<b>out/21</b>	1565
<b>set/21</b>	1293
<b>ago/21</b>	1156
<b>jul/21</b>	1092
<b>jun/21</b>	1138
<b>Média</b>	<b>1946 kWh</b>

Fonte: Equatorial PI, 2022

Algumas ressalvas devem ser feitas em relação a esse padrão de consumo. No ano de 2021, devido às restrições impostas pelo governo federal ocasionadas pela pandemia de covid-19, apenas o setor administrativo da unidade estava funcionando de maneira presencial, as aulas estavam sendo ministradas de maneira remota. Apenas em março de 2022, as aulas voltaram a ser ministradas de maneira presencial, o que pode ser notado pela diferença no padrão de consumo de março a maio de 2022 em relação aos demais meses de 2021. Além disso, no mês de abril de 2022 o alto consumo em relação aos demais meses se deu por uma manutenção no prédio da Universidade Estadual do Piauí (UESPI), onde as aulas dos cursos noturnos da universidade estavam sendo ministradas no colégio Nossa Senhora de Fátima no período da noite.

A média de consumo para os demais meses de 2022 deve superar a de 2021, mas por fins didáticos e para não apresentar dados fictícios, serão usados os dados reais, levando em consideração o intervalo de consumo de junho de 2021 a maio de 2022, cuja média mensal nesse intervalo foi de 1946 kWh/mês. O sistema de climatização da UC é responsável pelo maior consumo entre as cargas levantadas, como mostra a Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Levantamento de Cargas do Colégio

Quantidade	Tipo de Carga	Potência Individual (W)	Potência Total (W)
1	Condicionador de Ar (9000 BTU)	2638	2638
2	Condicionador de Ar (12000 BTU)	3517	7034
8	Condicionador de Ar (30000 BTU)	8787	70296
7	Computador	300	2100
7	Monitor	18	126
4	Impressora	45	180
40	Luminária LED	15	600
5	Lâmpada LED	12	60
8	Refletores de LED	90	720
2	Bebedouro de Água	310	620
1	Geladeira Duplex	300	300
1	Freezer Horizontal	500	500
1	Sistema de Segurança	56	56
		<b>TOTAL</b>	<b>85230 W</b>

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2022

Nota-se que a potência instalada é maior que 75 kW, o que levaria, na maioria dos casos, a uma UC alocada no grupo A de consumo. Em contato com a administração da UC não foi elucidado o motivo exato da modalidade tarifária da UC ser B, mas pode-se levantar algumas possíveis causas. Uma delas é o fato de ser um edifício antigo, sendo sua fundação datada de meados dos anos 60, podendo apenas na última expansão de potência instalada ter superado os 75 kW. Outra causa possível é relacionada aos horários de funcionamento da UC disponibilizados pela administração, que vai das 6:30h às 18:00h, logo não deve existir consumo em horário de ponta, dispensando o levantamento de demanda por parte da distribuidora.

#### 4.2.2 Sede da Prefeitura Municipal de Fronteiras/PI

A segunda edificação do estudo será a sede da prefeitura da cidade, localizada na Avenida Landri Sales, 454, no centro da cidade, conta com aproximadamente 39 servidores e tem seu horário de funcionamento das 7:00 horas até as 13:00 horas de

segunda a sexta-feira. A Figura 15 mostra a visão superior do edifício também georreferenciada pelo CNES/Airbus em parceria com o Google Earth.

Figura 16 - Visão superior da sede da Prefeitura Municipal de Fronteiras/PI



Fonte: Google Earth, 2022

A Tabela 5 apresenta mais informações sobre a localização, propriedades estruturais e elétricas da edificação onde será instalado o sistema FV.

Tabela 5 - Dados gerais da prefeitura

<b>Dados Gerais Prefeitura</b>	
<b>Latitude</b>	7°05'15.0"S
<b>Longitude</b>	40°37'00.1"O
<b>Inclinação do Telhado</b>	40% (23,58º) Leste
<b>Área do Telhado</b>	380 m <sup>2</sup>
<b>Tipo do Telhado</b>	Cerâmico
<b>Estrutura do Telhado</b>	Madeira
<b>Tensão de Alimentação</b>	220/380V Trifásico

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2022

#### 4.2.2.1 Estrutura Elétrica

O edifício da prefeitura é atendido por rede aérea de baixa tensão com responsabilidade da Equatorial Distribuidora do Piauí, sendo a alimentação do tipo



trifásica a quatro fios, com tensão de alimentação 220 V (fase/neutro) e 380 V (fase/fase). A instalação elétrica do edifício, por se localizar em um adensamento urbano, é feita diretamente da rede de baixa tensão, o ramal de entrada contém as 3 fases e o neutro ligados diretamente da linha de transmissão e sendo conectados, já dentro da edificação ao medidor, que deriva para quadro geral de baixa tensão (QGBT), de onde são alimentadas as cargas divididas entre as e fases.

A UC também é do grupo B e subgrupo B3 (demais classes). A Figura 17 mostra uma fatura de energia recente da UC, vale ressaltar que algumas informações foram omitidas da fatura a pedido do administrador da UC.

Figura 17 - Fatura de energia recente da prefeitura.

EQUATORIAL ENERGIA		A Tarifa Social de Energia Elétrica - TSEE foi criada pela Lei nº 10.438, 26 de abril de 2002 Nota Fiscal / Conta de Energia Elétrica - Série U - Nº Regime especial de impressão autorizado pela Sec. de Fazenda		Componente - 5550			
<b>EQUATORIAL PIAUI DISTRIBUIDORA DE ENERGIA</b> RUA JOÃO CABRAL, 730 CENTRO SUL - TERESINA - PI - CEP: 64.001-030 CNPJ: 06.840.748/0001-89 IE: 19301383-5		<b>MUNICÍPIO DE FRONTEIRAS SEDE DA PREFEITURA</b> AV LANDRI SALES, 454 SEDE DA PREFEITURA					
Atendimento: 0800 086 0800 www.equatorialenergia.com.br Ouvidoria: 0800 721 0164 (08h às 18h (Segunda à Sexta))		CENTRO - CEP 64.690-000 - FRONTEIRAS - PI CNPJ 06.553.721/0001-05		Código Único			
Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL : Fone 167 - Ligação Gratuita de telefones fixos e tarifada na origem para telefones celulares							
Emissão	Data Leitura Anterior	Data Leitura Atual	Data Próxima Leitura	Dias de Consumo	Apresentação	Mês Faturado	
11/05/2022	08/04/2022	09/05/2022	08/06/2022	31	09/05/2022	05/2022	
Classe / Subclasse	Ligação	Tensão / Modalidade Tarifária	Poste	Forma Faturamento	Nº / Motivo FD		
Ppub. Municipal	Trifásica	B3 Outros		Normal			
Consumo	Medidor	Leit. Atual	Leit. Anterior	Constante Fatur.	NPL	Cons. Medido	Cons. Faturado
	D176487	62605	61878	1,00000	5	727	727
Histórico	kWh	Composição da Tarifa (R\$)		Itens Faturados		Tar. sem impostos(R\$)	Valor (R\$)
04/2022	965	TUSD (*) 157,42		Consumo 727 kWh a 0,933276		0,660104	678,49
03/2022	909	TE (*) 218,39		Contrib. Iluminação Pública Municipal (COSIP)			80,55
02/2022	831	Transmissão 40,21					
01/2022	934	Encargos 63,87					
12/2021	997	Tributos 198,60					
11/2021	918	(*) TUSD= Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição; TE= Tarifa de Energia					
10/2021	875						
09/2021	870						
08/2021	854						
07/2021	906						
06/2021	1103						
05/2021	1099						
Média		Pis 0,5548% R\$ - 2,75					
12 meses	938	Cofins 2,5552% R\$ - 12,66					
Adicional Bandeira Vermelha - 23,27							-13,82

Fonte: Equatorial PI, 2022

A Tabela 6 mostra em destaque o padrão de consumo da UC, com histórico de consumo dos meses de junho de 2021 até maio de 2022.

Tabela 6 - Padrão de consumo da prefeitura

<b>Mês/Ano</b>	<b>Consumo (kWh)</b>
<b>mai/22</b>	727
<b>abr/22</b>	965
<b>mar/22</b>	909
<b>fev/22</b>	831
<b>jan/22</b>	934
<b>dez/22</b>	997
<b>nov/21</b>	918
<b>out/21</b>	875
<b>set/21</b>	870
<b>ago/21</b>	854
<b>jul/21</b>	906
<b>jun/21</b>	1103
<b>Média</b>	<b>908 kWh</b>

Fonte: Equatorial PI, 2022

Diferente do colégio, a prefeitura municipal já está com as suas atividades presenciais desde abril de 2021, logo a variação de consumo durante o período foi baixa. O sistema de climatização do edifício é o responsável pelo maior consumo entre as cargas levantadas, como mostra a Tabela 7.



Tabela 7 - Levantamento de cargas da Prefeitura

Quantidade	Tipo de Carga	Potência Individual (W)	Potência Total (W)
6	Condicionador de Ar (9000 BTU)	2638	15828
2	Condicionador de Ar (12000 BTU)	3517	7034
1	Condicionador de Ar (24000 BTU)	7034	7034
11	Computador	300	3300
11	Monitor	18	198
9	Impressora	45	405
16	Luminária LED	15	240
4	Lâmpada LED	12	48
1	Bebedouro de Água	97	97
1	Geladeira	90	90
1	Sistema de Segurança	56	56
		<b>TOTAL</b>	<b>34330 W</b>

Fonte: Desenvolvido pelo autor

#### 4.2.3 Análise da Irradiação Solar

O sistema FV desse estudo terá ângulo fixo, sabendo disso é necessário adotar algum critério para determinar qual o ângulo em relação ao plano horizontal será adotado na instalação dos painéis FV. É possível determinar um ângulo através da latitude geográfica para possibilitar uma boa produção média ao longo do ano. Porém, é recomendado adotar um valor mínimo de 10º de angulação para evitar o acúmulo de poeira sobre as placas (VILLALVA, 2015).

A irradiação solar média em determinada posição geográfica é um dos parâmetros que mais influência no potencial de produção de energia naquele local através de um sistema FV. Para determinar o histórico de irradiação solar média anual na cidade de Fronteiras, foi utilizado o banco de dados do CRESESB (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito), viabilizados ao público através do software *SunData*, que compila os dados, disponibilizando-os via *web*.

O programa *SunData* destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional e constitui-se em uma tentativa do CRESESB de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas

FV. Após a publicação da 2ª Edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar em 2017, o CRESESB obteve autorização para utilizá-lo na atualização da base de dados do *SunData*. Produzido a partir de um total de 17 anos de imagens de satélite e com informações de mais de 72.000 pontos em todo o território brasileiro, o Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª Edição é o que se tem de mais moderno em informações de irradiação solar no Brasil (CRESESB, 2022).

É possível localizar os dados de irradiação média buscando determinada região pela sua latitude e longitude. O programa irá retornar uma tabela com a irradiação solar média mensal levando em consideração o plano horizontal sem inclinação e com inclinação igual a latitude local. A Tabela 8 mostra esses dados para a cidade de Fronteiras/PI.

Tabela 8 - Irradiação Solar diária média mensal em Fronteiras/PI

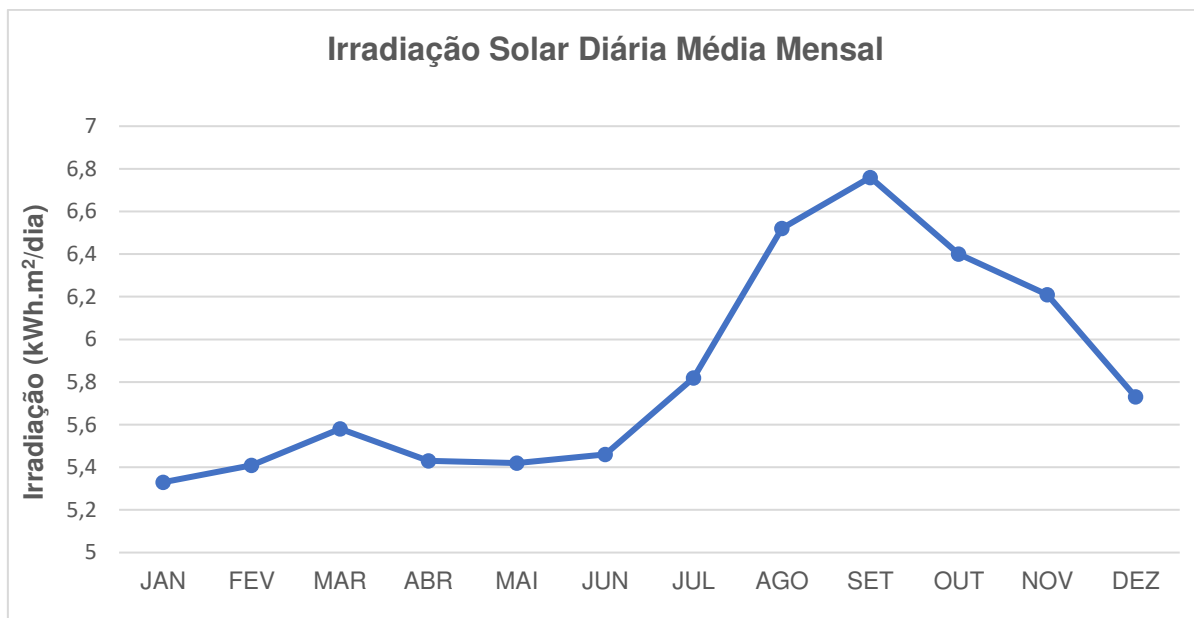
<b>Irradiação solar diária média mensal (kWh.m<sup>2</sup>/dia)</b>		
<b>Mês</b>	<b>Plano horizontal (0° N)</b>	<b>Inclinação igual a latitude (7° N)</b>
<b>JAN</b>	5,56	5,33
<b>FEV</b>	5,54	5,41
<b>MAR</b>	5,59	5,58
<b>ABR</b>	5,29	5,43
<b>MAI</b>	5,15	5,42
<b>JUN</b>	5,12	5,46
<b>JUL</b>	5,48	5,82
<b>AGO</b>	6,26	6,52
<b>SET</b>	6,68	6,76
<b>OUT</b>	6,52	6,4
<b>NOV</b>	6,47	6,21
<b>DEZ</b>	6,02	5,73
<b>Média</b>	<b>5,8</b>	<b>5,84</b>

Fonte: CRESESB, 2022

Para o presente trabalho os ângulos de inclinação e azimute das placas será definido pelas limitações do telhado das estruturas de acordo com as Tabelas 2 e 5.

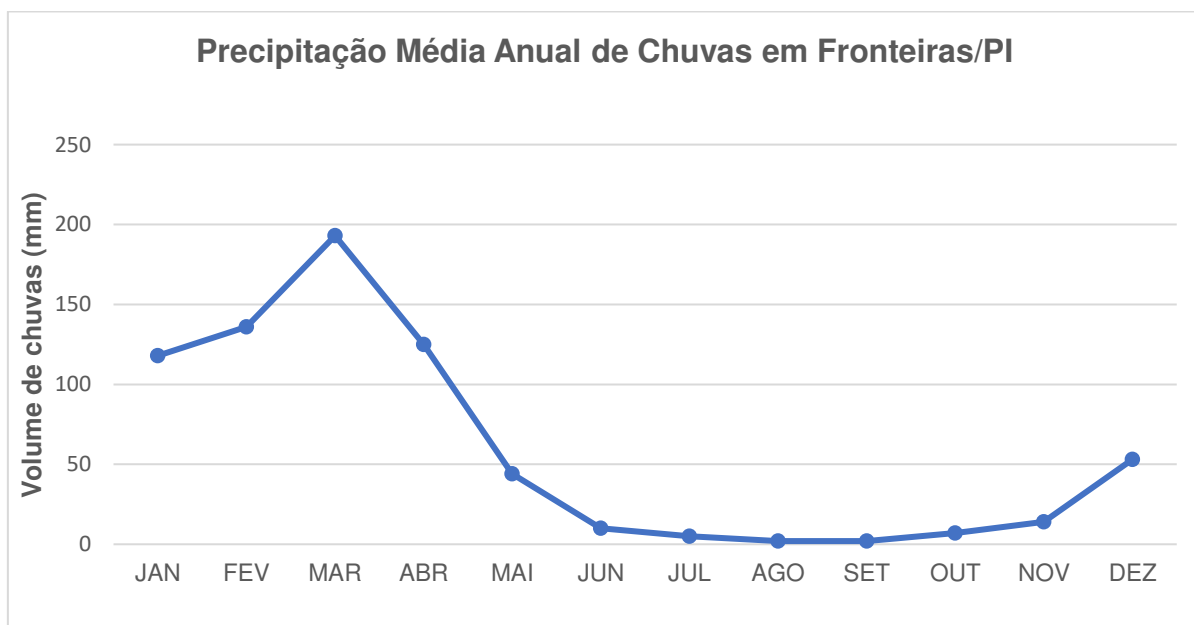
As Figuras 18 e 19 mostram a variação de irradiação solar com inclinação 7° norte ao longo do ano e a variação de precipitações de chuva na cidade, respectivamente.

Figura 18 - Variação de Irradiação Solar ao Longo do Ano em Fronteiras/PI



Fonte: Adaptado de CRESESB, 2022

Figura 19 - Variação de Precipitação de Chuvas o Longo do Ano em Fronteiras/PI



Fonte: Adaptado de CLIMATEMPO, 2022

É possível notar uma relação direta entre os as Figuras 18 e 19, mostrando que o período de menor irradiação solar coincide com o período chuvoso, o que indica um menor potencial para geração de energia, assim como o segundo semestre tem as maiores médias de incidência solar e baixo volume de chuvas, sinalizando a época com maior potencial para geração de eletricidade.

Vale ressaltar que ao observar a Figura 18, percebe-se uma variação percentual da irradiação média ao longo do ano de aproximadamente 16,7%, apontando uma alta eficiência para a instalação de centrais fotovoltaicas na região devido a essa baixa variação da irradiação.

## 5 ANÁLISE TÉCNICA

Neste capítulo serão abordados os temas técnicos, onde serão avaliadas as limitações físicas e geográficas para a implementação do sistema FV dimensionado.

### 5.1 Módulo FV Escolhido

Para a escolha dos módulos FV responsáveis pela geração de eletricidade dos sistemas, deve-se levar em consideração alguns fatores. Um fator essencial para desenhar um projeto aplicável é considerar módulos que sejam homologados pelos órgãos reguladores responsáveis, possibilitando sua venda e utilização em território nacional. Outro critério indispensável na escolha é a qualidade do componente assim como a segurança financeira da fabricante, pois isso garante que ela cumprirá com o compromisso de disponibilizar suporte aos clientes no período da utilização de seus produtos. Uma referência global no teste e garantia de qualidade de módulos FV é o relatório da *PV Evolution Labs* (PVEL), que anualmente categoriza os melhores módulos de fabricantes do setor FV ao redor do mundo. Outro critério que pode ser levado em consideração é o da saúde financeira geral da empresa responsável pela fabricação de um módulo, isso garante que durante o período que os módulos estejam em funcionamento, não falte suporte aos clientes. Para avaliar esse aspecto a *Bloomberg*, empresa especializada em dados e levantamentos econômicos pelo mundo, disponibiliza trimestralmente o relatório de empresas *Tier-1* do setor FV.

Sabendo disso, o módulo escolhido foi o da fabricante *JinKo Solar*, modelo JKM550M-72HL4-V, com potência de 550 Wp e eficiência de 21,29%. Esse módulo recebeu o selo *Top Performer* da PVEL, além disso a fabricante é uma empresa *Tier-1* segundo relatório da *Bloomberg* (Solar Analytica). No anexo A, encontram-se as especificações técnicas detalhadas do módulo segundo o fabricante. Vale ressaltar que a escolha do módulo em questão deve-se a fatores a metodologia usada anteriormente, se respeitados os parâmetros calculados, pode-se arbitrar a escolha dos módulos de outras marcas, segundo a preferência do projetista.

No atual estudo pode-se avaliar dois casos diferentes para a implementação do sistema. No primeiro Caso I, seria instalado um sistema em cada um dos prédios independentemente, já no Caso II, somar-se-ia a potência das duas unidades,

dimensionando assim, um sistema único capaz de suprir a demanda de eletricidade das duas unidades.

## 5.2 Dimensionamento do Sistema FV – Caso I

O dimensionamento do gerador FV foi realizado por meio de cálculos apresentados nas seções a seguir, com suas justificativas expostas. O software *PVsyst 7.2*, que oferece um teste de 30 dias para a primeira instalação, foi usado para obtenção de valores e comparar resultados.

Para o cálculo do dimensionamento do sistema de geração é possível usar a metodologia descrita nos estudos de Tirapelle, Moura e Frazão (2013), além do estudo de Urbanetz (2013). Para determinar a potência nominal do sistema será usada a Equação 5.1.

$$P_{FV} = \frac{E \times G}{H_T \times TD} \quad (5.1)$$

Onde:

$P_{FV}$  = Potência do sistema FV (kWp);

$E$  = Consumo médio diário durante o ano (kWh/dia);

$G$  = Irradiância nas condições STC (1 kW/m<sup>2</sup>);

$H_T$  = Irradiação solar diária incidente nos módulos FV (kWh/m<sup>2</sup>.dia);

$TD$  = Taxa de desempenho do sistema FV, considerando perdas na transformação CC para CA e perdas na condução de potência, usualmente 80%, (URBANETZ, 2013).

Essa metodologia é válida quando é feito o levantamento total das perdas, caso contrário se limita a um levantamento de potência teórico e impreciso. Para reduzir a imprecisão pode-se adotar o dimensionamento através de *softwares* de simulação, para este trabalho será usado o *PVSyst 7.2* com licença de testes para estudante. Com a ajuda do *software* é possível escolher os parâmetros de simulação que exprimem as perdas do sistema com mais precisão. Para definir a potência dos sistemas FV, serão utilizados os dois métodos e será escolhido o sistema com maior potência instalada em kWp.

Pelo método 1:

De acordo com as tabelas 3 e 6, o consumo anual médio da unidade escolar é de 23.352 kWh/ano, já a média anual da prefeitura é de 10.896 kWh/ano. Dividindo esses valores por 365, retorna o consumo médio diário durante o ano  $E1 = 63,98$  kWh/dia referente a unidade escolar e  $E2 = 29,85$  kWh/dia. A irradiação solar média  $H_T$  de referência, pode ser obtida na Tabela 8, cujo valor será 5,84 kWh/m<sup>2</sup>.dia. A par desses dados e fazendo uso da Equação 5.1, tem-se que o valor da potência nominal de cada sistema que será instalado.

$$P_{FV1} = \frac{63,98 \times 1}{5,84 \times 0,8} = 13,69 \text{ kWp}$$

$$P_{FV2} = \frac{29,85 \times 1}{5,84 \times 0,8} = 4,49 \text{ kWp}$$

$P_{FV1}$  representa a potência mínima do sistema FV instalada no colégio, já  $P_{FV2}$  a potência mínima do sistema FV que será instalado na prefeitura.

Pelo método 2:

No *software PVSyst 7.2* serão utilizados os seguintes dados como entrada para a simulação:

A irradiação solar média anual foi definida através do banco de dados de meteorologia do sistema *Meteonorm 8.0* com base em dados captados entre 2009 e 2017, representado na Figura 20.

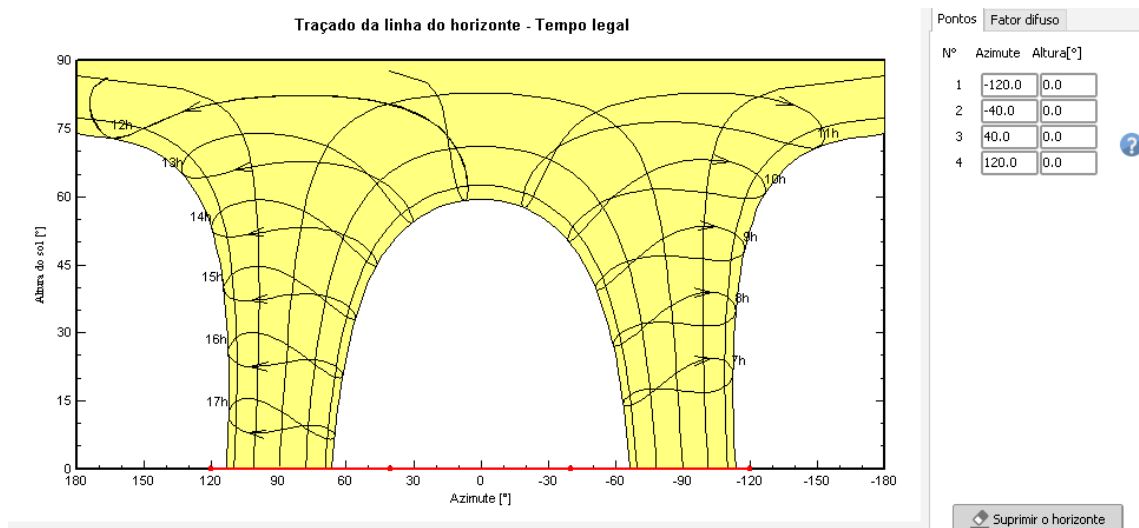
Figura 20 - Irradiação solar anual média para cidade de Fronteira/PI

	<b>Irradiação horizontal total</b>	<b>Irradiação difusa horizontal</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Velocidade do vento</b>	<b>Turvação de Linke</b>	<b>Humidade relativa</b>
	kWh/m <sup>2</sup> /dia	kWh/m <sup>2</sup> /dia	°C	m/s	[-]	%
Janeiro	5,40	2,42	27,2	3,40	3,329	67,3
Fevereiro	5,16	2,67	27,1	3,20	3,248	70,5
Março	5,44	2,41	27,2	2,90	3,318	71,5
Abril	5,40	2,11	26,4	2,71	3,041	76,4
Mai	5,01	2,05	26,6	2,79	2,926	74,6
Junho	4,92	1,88	25,5	3,00	2,875	74,2
Julho	5,16	1,90	25,4	3,21	2,785	70,3
Agosto	6,19	1,69	26,1	3,50	2,857	64,2
Setembro	6,53	2,12	26,7	3,80	3,165	61,7
Outubro	6,43	2,45	27,8	3,90	3,597	58,7
Novembro	6,29	2,36	27,7	3,90	3,493	59,9
Dezembro	5,79	2,71	27,9	3,70	3,534	62,7
<b>Ano</b>	<b>5.65</b>	<b>2.23</b>	<b>26.8</b>	<b>3.3</b>	<b>3.181</b>	<b>67.7</b>

Fonte: PVSyst 7.2, 2022

Devido às limitações técnicas para aferir manualmente o traçado da linha do horizonte das UCs, serão usados os dados padrões já aplicados no *software*, exemplificados na Figura 21.

Figura 21 - Traçado da linha do horizonte para simulação



Fonte: PVSyst 7.2, 2022

O consumo anual do colégio para simulação foi de 23,4 MWh/ano e da prefeitura foi de 10,9 MWh/ano. A inclinação das placas com relação ao plano horizontal foi definida pelas limitações dos telhados, sendo 27° para o colégio e 24°



para a prefeitura. Os ângulos de azimute foram obtidos com ajuda da ferramenta *SunEarthTools*, disponível gratuitamente na web, onde para o colégio o azimute foi de aproximadamente 350° ou -10° e para a prefeitura foi de aproximadamente 80°.

A Figura 22 mostra as configurações dos módulos escolhidas para a simulação, onde o tipo de módulo é o padrão com células monocristalinas de acordo com o datasheet, o local de instalação é um telhado e a ventilação é completamente isolada.

Figura 22 - Propriedade dos módulos e configurações da instalação

The image shows a software interface with four panels for configuring PV system properties:

- Tipo de módulo:** Three options with radio buttons:  Standard (with a grid of cells icon),  Translúcido (with a translucent panel icon), and  Não definido (with a grid of cells icon).
- Tecnologia:** Three options with radio buttons:  Células monocristalinas (with a grid of cells icon and a yellow question mark),  Polycrystalline cells (with a grid of cells icon and a yellow question mark), and  Película fina (with a thin film icon and a yellow question mark).
- Disposição do suporte:** Three options with radio buttons:  Telhado plano (with a flat roof icon),  Fachada ou telhado (with a pitched roof icon), and  No solo (with a ground-mounted array icon).
- Propriedades da ventilação:** Three options with radio buttons:  Circulação de ar livre (with a roof icon),  Integrado parcialmente (with a roof icon), and  Completamente isolado (with a roof icon).

Fonte: PVSyst 7.2, 2022

As Figuras 23 e 24 mostram os resultados das simulações para o sistema do colégio e da prefeitura, respectivamente.

Figura 23 - Resultado da simulação para o sistema FV do colégio

	<b>Horizonte total</b> kWh/m <sup>2</sup> /dia	<b>Plano mód.</b> kWh/m <sup>2</sup> /dia	<b>Saída sistema</b> kWh/dia	<b>Saída sistema</b> kWh
<b>Jan.</b>	5.40	4.32	49.74	1542
<b>Fev.</b>	5.16	4.52	52.09	1459
<b>Mar.</b>	5.44	5.23	60.21	1867
<b>Abr.</b>	5.40	5.78	66.58	1997
<b>Mai.</b>	5.01	5.81	66.88	2073
<b>Jun.</b>	4.92	5.96	68.59	2058
<b>Jul.</b>	5.16	6.17	71.02	2202
<b>Ago.</b>	6.19	6.96	80.09	2483
<b>Set.</b>	6.53	6.58	75.73	2272
<b>Out.</b>	6.43	5.79	66.64	2066
<b>Nov.</b>	6.29	5.10	58.74	1762
<b>Dez.</b>	5.79	4.54	52.27	1620
<b>Ano</b>	5.64	5.57	64.11	23400

Fonte: PVSyst 7.2, 2022

A potência do sistema FV para alcançar essa geração foi de 14 kWp.

Figura 24 - Resultado da simulação para o sistema FV da prefeitura

	<b>Horizonte total</b> kWh/m <sup>2</sup> /dia	<b>Plano mód.</b> kWh/m <sup>2</sup> /dia	<b>Saída sistema</b> kWh/dia	<b>Saída sistema</b> kWh
<b>Jan.</b>	5.40	5.10	27.77	861
<b>Fev.</b>	5.16	4.93	26.85	752
<b>Mar.</b>	5.44	5.27	28.71	890
<b>Abr.</b>	5.40	5.31	28.93	868
<b>Mai.</b>	5.01	5.00	27.25	845
<b>Jun.</b>	4.92	4.95	26.94	808
<b>Jul.</b>	5.16	5.18	28.21	875
<b>Ago.</b>	6.19	6.13	33.38	1035
<b>Set.</b>	6.53	6.35	34.59	1038
<b>Out.</b>	6.43	6.15	33.49	1038
<b>Nov.</b>	6.29	5.94	32.34	970
<b>Dez.</b>	5.79	5.46	29.71	921
<b>Ano</b>	5.64	5.48	29.86	10900

Fonte: PVSyst 7.2, 2022

A potência do sistema FV para alcançar essa geração foi de 6,6 kWp.

A Tabela 9 mostra a comparação entre as potencias necessárias para suprir a demanda de consumo das unidades para cada método utilizado.

Tabela 9 - Potências dos sistemas FV dimensionadas pelos dois métodos utilizados

	<b>Método 1 (kWp)</b>	<b>Método 2 (kWp)</b>
<b>Colégio</b>	13,69	14
<b>Prefeitura</b>	4,49	6,6

Fonte: Adaptado PVSyst 7.2, 2022

A diferença percentual entre os sistemas dimensionados para o colégio é baixa, da ordem de 2,21% já para o sistema da prefeitura a diferença foi aproximadamente 32%, essa diferença significativa se dá pela elevada perda de rendimento causada pelo ângulo de azimute, segundo estudo publicado pela Revista Principia, 2018, é possível inferir que instalações com inclinação de azimute orientada para o leste e o oeste tem mais perdas que sistemas orientados para o norte e sul, no caso do sistema da prefeitura, a orientação de azimute é 80°, ou seja o sistema está praticamente orientado para o leste. Dessa forma, pela metodologia adotada, a potência dos sistemas escolhidos para o Caso I são, 14 kWp e 6,6 kWp para os sistemas do colégio e da prefeitura respectivamente.

### 5.2.1 Determinação da Quantidade de Módulos FV

Para determinar a quantidade de módulos no projeto, deve-se considerar a potência mínima do sistema dimensionado e relaciona-la com a potência de cada módulo FV, além disso, deve-se considerar a área útil de telhado disponível em cada edificação, as Tabelas 2 e 4. Para determinar o número mínimo de painéis, deve-se utilizar a Equação 5.2.

$$N_{mod} = \frac{P_{FV}}{P_{mod}} \quad (5.2)$$

Onde:

$N_{mod}$  é o número de painéis necessários no sistema;

$P_{FV}$  é a potência do sistema FV dimensionado (Wp);

$P_{mod}$  é a potência de cada módulo (Wp).

Sabendo que a potência do sistema para a prefeitura será de 6,6 kWp e que cada painel tem potência de 550 Wp, o número mínimo de módulos é:

$$N_{mod1} = \frac{6600}{550} = 12 \quad (5.3)$$

Assim o número de painéis do sistema FV da prefeitura deverá ser pelo menos 12. O sistema FV do colégio deve ter ao menos 14 kWp de potência, utilizando o mesmo modelo de módulo FV, tem-se que o número mínimo de módulos do sistema é:

$$N_{mod2} = \frac{14000}{550} = 25,45 \quad (5.4)$$

Assim o número de painéis do sistema FV do colégio deverá ser pelo menos 26. Logo a potência instalada do sistema FV do colégio deve ser ao menos 14,3 kWp.

Definido o número mínimo de painéis que irão compor os sistemas FV e sabendo que a área de cada painel é de aproximadamente 2,58 m<sup>2</sup>, tem-se que a área coberta por painéis na prefeitura será de 30,96 m<sup>2</sup>, área essa, muito menor que a área útil de telhado disponível, que é de 380 m<sup>2</sup>. Já no sistema do colégio a área coberta é de 67,08 m<sup>2</sup>, área essa também muito inferior à área disponível do telhado que é de 2840 m<sup>2</sup>.

### 5.2.2 Escolha dos Inversores

Segundo o estudo de Tirapelle, Mura e Frazão (2013), para determinar a potência do inversor, deve-se basear na potência nominal do sistema FV. Com o objetivo de garantir o menor custo e assegurar o correto funcionamento dos inversores, é possível adotar um FDI (Fator de Dimensionamento de Inversores) para ajustar a potência necessária (PINHO; GALDINO, 2014).

O FDI escolhido define que a potência do inversor escolhido deve estar em um intervalo 20% maior ou menor que a potência do sistema, como mostra a Equação 5.5.

$$0,8 \times P_{FV} \leq P_{INV} \leq 1,2 \times P_{FV} \quad (5.5)$$

Onde:

$P_{FV}$  = Potência do sistema FV (kWp);

$P_{INV}$  = Potência do inversor (kW).

Assim como foi feito na escolha do módulo FV usado no estudo, é importante adotar uma metodologia para a escolha dos inversores, buscando opções de qualidade comprovada no mercado. De acordo com estudo publicado pela empresa Solfacil, que compila dados de solicitações de financiamentos de projetos FV feitos a empresa nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2022. É possível verificar que a marca preferida no Brasil é a *Growatt*, pois se destaca, nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste (Radar Solfacil, 2022).

Dessa forma, para o atual estudo serão utilizados inversores da marca *Growatt*, que respeitem as especificações dos sistemas dimensionados. Para dimensionar o inversor do sistema FV da prefeitura usar-se-á o FDI mostrado na Equação 5.5, como a potência do sistema será de 6.6 kWp, o inversor escolhido deve ter valor de potência entre 5,28 kW e 7,92 kW. Obedecendo esses limites, o inversor escolhido foi o da fabricante *Growatt* de 7 kW, modelo MOD7000TL3-X. De maneira análoga, os limites para o inversor do sistema FV do colégio, que tem potência de 14,3 kWp, são 11,44 kW e 17,16 kW. Respeitando esses limites, o inversor escolhido foi o da fabricante *Growatt* de 15 kW, modelo MID15KTL3-X. Os *datasheets* desses inversores podem ser consultados nos Anexos B e C.

### 5.2.3 Geração do Sistema

Para determinar a geração do sistema foi utilizado o software *PVsyst 7.2*, onde desta vez, o parâmetro de entrada não foi a potência anual consumida pelas UCs, mas sim as potências dos sistemas FVs dimensionados, 6,6 kWp para o sistema da prefeitura e 14,3 kWp para o sistema do colégio. A Tabela 10 mostra a geração mensal simulada, para os sistemas dimensionados.

Tabela 10 - Geração anual média para os sistemas FV do Caso I

<b>Mês</b>	<b>Geração Prefeitura (kWh)</b>	<b>Geração Colégio (kWh)</b>
<b>JAN</b>	858	1576
<b>FEV</b>	749	1491
<b>MAR</b>	887	1907
<b>ABR</b>	865	2041
<b>MAI</b>	842	2119
<b>JUN</b>	806	2103
<b>JUL</b>	872	2250
<b>AGO</b>	1032	2537
<b>SET</b>	1035	2322
<b>OUT</b>	1035	2111
<b>NOV</b>	967	1801
<b>DEZ</b>	918	1656
<b>Total</b>	<b>10867 kWh/ano</b>	<b>23914 kWh/ano</b>

Fonte: Adaptado de *PVSyst 7.2, 2022*

De acordo com as especificações técnicas fornecida pelo fabricante dos módulos, os mesmos tem uma garantia de geração por 25 anos, tendo decréscimo anual no seu rendimento. Durante o primeiro ano de geração o módulo FV sofre um decréscimo de 2%, em média, de seu rendimento. Nos anos seguintes, essa variação poderá ser de, no máximo, 0,55% ao ano. Ao final do período de garantia (25 anos), a queda de rendimento não deve ultrapassar 15,2%, logo, cada painel deve permanecer com aproximadamente 84,8% do rendimento inicial (JINKO, 2020). Com isso é possível determinar a variação de geração durante os 25 anos que os painéis se mantiverem em operação. A Tabela 11, traz essa série de dados.

Tabela 11 - Geração anual considerando decréscimo de rendimento

<b>Ano</b>	<b>Red. Rendimento Anual (%)</b>	<b>Geração Prefeitura (kWh)</b>	<b>Geração Colégio (kWh)</b>
1	2%	10650	23436
2	0,55%	10591	23307
3	0,55%	10533	23179
4	0,55%	10475	23051
5	0,55%	10417	22924
6	0,55%	10360	22798
7	0,55%	10303	22673
8	0,55%	10246	22548
9	0,55%	10190	22424
10	0,55%	10134	22301
11	0,55%	10078	22178
12	0,55%	10023	22056
13	0,55%	9968	21935
14	0,55%	9913	21814
15	0,55%	9858	21694
16	0,55%	9804	21575
17	0,55%	9750	21456
18	0,55%	9697	21338
19	0,55%	9643	21221
20	0,55%	9590	21104
21	0,55%	9537	20988
22	0,55%	9485	20873
23	0,55%	9433	20758
24	0,55%	9381	20644
25	0,55%	9329	20530
<b>Total</b>		<b>249388 kWh</b>	<b>548806 kWh</b>

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2022

Segundo o modelo sugerido pelo fabricante, ao final do ano 25, a geração anual representaria 85,85% da geração inicial. Durante esse período o sistema FV da prefeitura seria capaz de gerar um total de aproximadamente 249.388 kWh e o do colégio 548.806 kWh.

#### 5.2.4 Interconexão dos Módulos FV

O dimensionamento do gerador FV consiste na determinação da quantidade de módulos que devem ser conectados em série, o que resulta numa série FV, e da quantidade de séries FV que devem ser conectadas em paralelo para fornecer os mais adequados níveis de tensão e corrente, respectivamente, de forma a não infringir as limitações superiores e inferiores de tensão e corrente do inversor e, assim, viabilizar a operação deste em patamares próximos aos de capacidade e eficiência máxima o maior tempo possível ao longo do dia (SILVA,2016).

O inversor de tensão exige valores dentro de um intervalo especificado para funcionar adequadamente, assim, a junção de painéis FV em série (*string*) e/ou paralelo tem por objetivo elevar a tensão e a corrente a níveis que possam ser processados pelo inversor de tensão (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

O módulo FV tem suas características elétricas influenciadas basicamente pela irradiância incidente e a temperatura do módulo. Assim, torna-se de extrema importante avaliar os limites históricos máximo e mínimo de temperatura ambiente da localidade onde planeja-se instalar o gerador FV (SILVA, 2016).

Por se tratar de uma cidade do interior com baixa densidade populacional e pouca relevância econômica no estado, Fronteiras/PI não possui dados de temperatura máxima e mínima registrados no banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), tão pouco o estado tem um banco de dados local para esse tipo de consulta, contudo, há registros de temperaturas máximas em torno dos 41º celsius em cidades próximas, assim como mínimas de 14º celsius. Para o presente estudo, serão adotadas as temperaturas mínima e máxima de 15º e 40º celsius, respectivamente.

A partir dessas temperaturas, é possível determinar as temperaturas máxima ( $T_{mod_{max}}$ ) e mínima ( $T_{mod_{min}}$ ) do módulo FV usando a Equação 5.6.

$$T_{mod} = T_{amb} + (K_t \times G) \quad (5.6)$$

Onde:

$T_{mod}$  = Temperatura do módulo FV (°C);

$T_{amb}$  = Temperatura ambiente no local (°C);



$K_t$  = Coeficiente térmico para o módulo ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ). Se não for conhecido pode-se adotar um valor padrão de 0,03 (SILVA,2016).

$G$  = Irradiância solar incidente sobre o módulo ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).

Também não foi possível levantar dados referentes a máxima irradiação histórica medida na cidade, para tanto é usual a utilização desse parâmetro na STC (Condição Padrão de Teste) que é igual a  $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ . A partir dos dados e utilizando a Equação 5.6, as temperaturas, máxima ( $T_{mod_{max}}$ ) e mínima ( $T_{mod_{min}}$ ) do módulo FV são:

$$T_{mod_{max}} = 40 + (0,03 \times 1000) = 70 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (5.7)$$

$$T_{mod_{min}} = 15 + (0,03 \times 0) = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (5.8)$$

Conhecendo as temperaturas, máxima e mínima que podem ser alcançadas pelo módulo FV, pode-se calcular os valores máximo e mínimo das tensões de saída dos módulos. Para isso, devem ser aplicados os coeficientes de temperatura do módulo, que podem ser vistos no Anexo A. É necessário calcular, tanto a variação da tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ), quanto no ponto de potência máxima ( $V_{mp}$ ), ambas criadas por flutuações de temperatura, isso se dá pois é necessário garantir que a tensão de circuito aberto nunca ultrapasse o máximo permitido pelo inversor.

#### 5.2.4.1 Interconexão dos Módulos FV – Prefeitura

De acordo com o datasheet do inversor usado no sistema FV da prefeitura, disponível no Anexo B, a máxima tensão CC suportada é 1100 V e que a tensão, no ponto de potência máxima, para todas as condições de temperatura, permaneça dentro da faixa permitida pelo inversor (200 a 1000 V), para o correto funcionamento do (MPPT).

O cálculo das tensões de circuito aberto máxima ( $V_{oc_{max}}$ ) e mínima ( $V_{oc_{min}}$ ), são feitos a partir da Equação 5.9.

$$V_{oc} = V_{oc_{stc}} \times \left[ 1 + (T_{mod} - 25) \times \frac{CT_{V_{oc}}}{100} \right] \quad (5.9)$$

Onde:

$V_{oc}$  = Tensão de circuito aberto (V);

$V_{oc_{stc}}$  = Tensão de circuito aberto na STC (V);

$T_{mod}$  = Temperatura do módulo FV (°C);

$CT_{V_{oc}}$  = Coeficiente de temperatura da tensão de circuito aberto do módulo FV (%/°C). Pode ser obtida no Anexo A.

As tensões de circuito aberto máxima ( $V_{oc_{max}}$ ) e mínima ( $V_{oc_{min}}$ ) serão obtidas nas Equações 5.10 e 5.11.

$$\begin{aligned} V_{oc_{max}} &= 49,62 \times \left[ 1 + (15 - 25) \times \frac{-0,28}{100} \right] \\ &= 51,01 \text{ V} \end{aligned} \quad (5.10)$$

$$\begin{aligned} V_{oc_{min}} &= 49,62 \times \left[ 1 + (70 - 25) \times \frac{-0,28}{100} \right] \\ &= 43,38 \text{ V} \end{aligned} \quad (5.11)$$

Vale ressaltar que para a obtenção da tensão de circuito aberto máxima, utiliza-se a temperatura mínima do módulo, assim como para a obtenção da tensão de circuito aberto mínima, utiliza-se a temperatura máxima do módulo. Isso se dá pelo fato de o coeficiente de temperatura da tensão de circuito aberto ser negativo, indicando que para maiores temperaturas no módulo FV, a tensão de circuito aberto deve diminuir, valendo a relação inversa para temperaturas baixas no módulo FV. Para calcular a tensão no ponto de máxima potência, usa-se a Equação 5.12.

$$V_{mp} = V_{mp_{stc}} \times \left[ 1 + (T_{mod} - 25) \times \frac{CT_{V_{mp}}}{100} \right] \quad (5.12)$$

Onde:

$V_{mp}$  = Tensão no ponto de máxima potência (V);

$V_{mp_{stc}}$  = Tensão no ponto de máxima potência na STC (V);

$T_{mod}$  = Temperatura do módulo FV (°C);

$CT_{V_{mp}}$  = Coeficiente de temperatura da tensão no ponto de máxima potência do módulo FV (%/°C). Pode ser obtida no Anexo A.

As tensões nos pontos de máxima potência máxima ( $V_{mp_{max}}$ ) e mínima ( $V_{mp_{min}}$ ) serão obtidas nas Equações 5.13 e 5.14.

$$\begin{aligned} V_{mp_{max}} &= 40,9 \times \left[ 1 + (15 - 25) \times \frac{-0,35}{100} \right] \\ &= 42,33 \text{ V} \end{aligned} \quad (5.13)$$

$$\begin{aligned} V_{mp_{min}} &= 40,9 \times \left[ 1 + (70 - 25) \times \frac{-0,35}{100} \right] \\ &= 34,46 \text{ V} \end{aligned} \quad (5.14)$$

De acordo com Pinho e Galdino (2014), devido ao coeficiente de temperatura negativo dos módulos, costuma-se projetar sistemas com potência superior a potência nominal dos inversores, já que mesmo em STC onde a irradiação no local alcance valores próximos a  $1000 \text{ W/m}^2$ , devido ao aumento da temperatura nos módulos há quedas de tensão, ocasionando perdas significativas de potência, assim, dificilmente o módulo alcança seus valores de potência nominal.

A partir daqui serão dimensionados os arranjos dos módulos FV, discriminando quantos módulos em série e quantos arranjos dessas series em paralelo devem ser instaladas para alcançar as condições de pleno funcionamento do sistema. Existem algumas condições para a determinação do número de módulos em série, que serão elencadas a seguir.

A máxima tensão de entrada CC ( $V_{cc_{max}}$ ) suportada pelo inversor é de 1100 V, logo o número máximo de módulos ligados em série, deve ser menor que a razão entre a máxima tensão de entrada CC do inversor e a máxima tensão CC que um módulo pode alcançar, que é a tensão máxima de circuito aberto quando a temperatura é mínima ( $V_{oc_{max}}$ ) igual a 51,01 V. Assim o número máximo de módulos FV que podem ser ligados em série é dado pela Equação 5.15.

$$\text{Numero de módulos em série} < \frac{1100}{51,01} < 21,56 \text{ módulos} \quad (5.15)$$

Dessa maneira o número máximo de módulos FV que podem ser ligados em série é 21, por esse critério.

Outra condição que deve ser satisfeita para determinar o número de módulos em série, é garantir que a tensão do arranjo série esteja dentro dos limites especificados no inversor (entre 200 e 1000 V), para todas as temperaturas possíveis, visando o correto funcionamento do MPPT. Assim, o número máximo de módulos em série é determinado pela razão entre a tensão máxima do MPPT ( $V_{mppt_{max}}$ ) e a tensão máxima no ponto de máxima potência ( $V_{mp_{max}}$ ), dada pela Equação 5.16.

$$\frac{V_{mppt_{max}}}{V_{mp_{max}}} = \frac{1000}{42,33} = 23,62 \text{ módulos em série} \quad (5.16)$$

Por esse critério, o número máximo de módulos FV que podem ser ligados em série é 23. Já o número mínimo de módulos em série é calculado de maneira análoga, sendo a razão entre a tensão mínima do MPPT ( $V_{mppt_{min}}$ ) e a tensão mínima no ponto de máxima potência ( $V_{mp_{min}}$ ), dada pela Equação 5.17.

$$\frac{V_{mppt_{min}}}{V_{mp_{min}}} = \frac{200}{34,46} = 5,8 \text{ módulos em série} \quad (5.17)$$

Por esse critério, o número mínimo de módulos FV que podem ser ligados em série é 6. Portanto, respeitando todos os critérios, o número máximo de módulos em série é 21. O sistema FV dimensionado deve contar com ao menos 12 módulos, logo, o sistema FV da prefeitura pode ser instalado com apenas uma *string* contendo 12 módulos em série, já que o limite de corrente por *string* não supera os limites do inversor.

#### 5.2.4.2 Interconexão dos Módulos FV – Colégio

O cálculo das quedas de tensão para o sistema do colégio é feito de maneira análoga ao da prefeitura. O módulo FV é o mesmo, o que irá mudar será o inversor usado, por suportar uma potência maior, logo, as quedas de tensão nos módulos serão a mesmas.

A máxima tensão de entrada CC ( $V_{cc_{max}}$ ) suportada pelo inversor é de 1100 V, a faixa de tensão para funcionamento pleno do MPPT é vai de 250 V a 1000 V assim

o número máximo de módulos FV que podem ser ligados em série é dado pela Equação 5.15.

$$\text{Numero de módulos em série} < \frac{1100}{51,01} < 21,56 \text{ módulos} \quad (5.18)$$

Por esse critério, o número máximo de módulos FV que podem ser ligados em série é 21.

O número máximo de módulos em série é determinado pela razão entre a tensão máxima do MPPT ( $V_{mppt_{max}}$ ) e a tensão máxima no ponto de máxima potência ( $V_{mp_{max}}$ ), dada pela Equação 5.16.

$$\frac{V_{mppt_{max}}}{V_{mp_{max}}} = \frac{1000}{42,33} = 23,62 \text{ módulos em série} \quad (5.19)$$

Por esse critério, o número máximo de módulos FV que podem ser ligados em série é 23. Já o número mínimo de módulos em série é calculado de maneira análoga, sendo a razão entre a tensão mínima do MPPT ( $V_{mppt_{min}}$ ) e a tensão mínima no ponto de máxima potência ( $V_{mp_{min}}$ ), dada pela Equação 5.16.

$$\frac{V_{mppt_{min}}}{V_{mp_{min}}} = \frac{250}{34,46} = 7,25 \text{ módulos em série} \quad (5.20)$$

Por esse critério, o número mínimo de módulos FV que podem ser ligados em série é 8. Portanto, sabendo que o número máximo de módulos em série é 21 e o sistema FV do colégio deve contar com ao menos 26 módulos para alcançar a potência dimensionada, o sistema FV da prefeitura deve conter ao menos duas *strings*.

A soma das correntes de cada *string* não pode superar os limites de cada entrada do inversor, sabendo que o inversor tem 5 entradas DC e cada entrada suporta até 25 A, o limite máximo de corrente através das *strings* deve ser 125 A. De acordo com o Anexo A, a corrente máxima através de cada *string* não pode superar 14,03 A, logo o número máximo de séries que podem ser ligadas em paralelo é dado pela Equação 5.21.

$$\text{Número de séries em paralelo} < \frac{125}{14,03} < 8,91 \quad (5.21)$$

Assim o número máximo de séries em paralelo é 8. Logo, serão 2 *strings* ligadas em paralelo, cada uma com 13 módulos ligados em série, o que mantém tanto o limite de tensão máxima na entrada do inversor, quanto a tensão em máxima potência dentro dos limites do MPPT para o seu correto funcionamento, para todas as temperaturas possíveis que o módulo pode alcançar. A Tabela 12 mostra um resumo das configurações adotadas na interconexão dos módulos.

Tabela 12 - Interconexão dos módulos para o Caso I

	Nº de módulos por <i>string</i>	Nº de <i>strings</i>
<b>Colégio</b>	12	1
<b>Prefeitura</b>	13	2

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2022

### 5.3 Dimensionamento para o caso II

No modelo da geração distribuída a energia excedente, gerada pela unidade consumidora com micro ou minigeração, é injetada na rede da distribuidora, que funciona como uma bateria, e há uma troca da energia gerada e da energia consumida, via Sistema de Compensação de Energia. Quando a energia injetada na rede for maior que a consumida, o consumidor receberá um crédito em energia (kWh) a ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário ou na fatura dos meses subsequentes (Canal Solar, 2020).

O Caso II é viabilizado por esse sistema de compensação de energia elétrica, onde será dimensionada apenas um sistema FV que seja capaz de suprir a demanda das duas UCs. Como o posto tarifário das duas UCs é o mesmo (grupo B), não se faz necessária a aplicação de um fator de correção sobre a potência excedente ao consumo, já que não existe cobrança por consumo em horário de ponta.

#### Método 1:

De acordo com as tabelas 3 e 6, o consumo anual médio da unidade escolar é de 23.352 kWh/ano, já a média anual da prefeitura é de 10.896 kWh/ano, esse valor somado é igual a 34.248 kWh/ano. Dividindo esse valor por 365, retorna o consumo médio diário durante o ano  $E = 93,97$  kWh/dia. A irradiação solar média  $H_T$  de referência, pode ser obtida na Tabela 8, cujo valor será 5,84 kWh/m<sup>2</sup>.dia. A par desses dados e fazendo uso da Equação 5.1, tem-se que o valor da potência nominal do sistema que será instalado.

$$P_{FV1} = \frac{93,97 \times 1}{5,84 \times 0,8} = 20,11 \text{ kWp}$$

#### Método 2:

Pelos dados obtidos no Caso I, foi possível notar que as condições para a instalação de um sistema FV no telhado do colégio são melhores do ponto de vista técnico, pois otimizam o rendimento do sistema, já que mesmo com inclinação maior, a orientação azimute do telhado é muito próxima ao norte, diminuindo as perdas, além de ter uma área disponível maior. Sabendo disso, o telhado do colégio será utilizado para a instalação do sistema capaz de suprir a demandas das duas UCs.

As Figuras 20,21 e 22, mostram os parâmetros de entrada para simulação que são comuns aos dois casos. O consumo anual das unidades somado foi de 23,4 MWh/ano. A inclinação das placas com relação ao plano horizontal foi definida pelas limitações dos telhados, sendo 27° para o colégio. O ângulo de azimute foi obtido com ajuda da ferramenta *SunEarthTools*, disponível gratuitamente na web, onde, para o colégio, o azimute foi de aproximadamente 350° ou -10°.

A Figura 25 mostra os resultados da simulação para o sistema capaz de suprir a demanda das duas UCs.

Figura 25 - Resultado da simulação para o sistema FV conjunto

	Horizonte total kWh/m <sup>2</sup> /dia	Plano mód. kWh/m <sup>2</sup> /dia	Saída sistema kWh/dia	Saída sistema kWh
Jan.	5.40	4.32	72.90	2260
Fev.	5.16	4.52	76.35	2138
Mar.	5.44	5.23	88.26	2736
Abr.	5.40	5.78	97.59	2928
Mai.	5.01	5.81	98.04	3039
Jun.	4.92	5.96	100.5	3016
Jul.	5.16	6.17	104.1	3227
Ago.	6.19	6.96	117.4	3639
Set.	6.53	6.58	111.0	3330
Out.	6.43	5.79	97.69	3028
Nov.	6.29	5.10	86.10	2583
Dez.	5.79	4.54	76.61	2375
Ano	5.64	5.57	93.97	34300

Fonte: PVSyst 7.2, 2022

De acordo com a simulação a potência do sistema FV capaz de suprir a demanda conjunta das UCs deve ser de ao menos 20,5 kWp, como é um valor maior que os 20,11 kWp, definidos pelo método 1 e de acordo com a metodologia adotada para a escolha da potência do sistema, será usada novamente a potência determinada pelo método 2, igual a 20,5 kWp.

### 5.3.1 Determinação da Quantidade de Módulos FV

De maneira análoga ao Caso I, o número mínimo de módulos FV do sistema conjunto é calculado através da Equação 5.2.

$$N_{mod1} = \frac{20500}{550} = 37,27$$

Assim o número de painéis do sistema FV conjunto deverá ser pelo menos 38. Nesse caso a potência do sistema FV será de 20,9 Kwp.

### 5.3.2 Escolha dos Inversores

O FDI escolhido para o Caso II, será o mesmo do Caso I. Ou seja, a potência do inversor escolhido deve estar em um intervalo 20% maior ou menor que a potência do sistema, como mostra a Equação 5.4.



Para o Caso II, também serão utilizados inversores da marca *Growatt*, que respeitem as especificações dos sistemas dimensionados. O inversor do sistema FV conjunto deve ter potência nominal entre 16,72 kW e 25,08 kW. Obedecendo esses limites, o inversor escolhido foi o da fabricante *Growatt* de 22 kW, modelo MOD22KTL3-X. O *datasheet* desse inversor pode ser consultado no Anexo C.

### 5.3.3 Geração do Sistema

Para determinar a geração do sistema foi utilizado o software *PVsyst 7.2*, onde desta vez, o parâmetro de entrada não foi a potência anual consumida pelas UCs, mas sim as potências dos sistemas FVs dimensionados, que foi de 20,9 kWp para o sistema conjunto. A Tabela 13 mostra a geração mensal simulada, para o sistema dimensionado.

Tabela 13 - Geração anual média para os sistemas FV do Caso II

<b>Mês</b>	<b>Geração Prefeitura (kWh)</b>
<b>JAN</b>	2303
<b>FEV</b>	2178
<b>MAR</b>	2788
<b>ABR</b>	2983
<b>MAI</b>	3097
<b>JUN</b>	3073
<b>JUL</b>	3289
<b>AGO</b>	3708
<b>SET</b>	3393
<b>OUT</b>	3086
<b>NOV</b>	2632
<b>DEZ</b>	2420
<b>Total</b>	<b>34951 kWh/ano</b>

Fonte: Adaptado de *PVsyst 7.2*, 2022

. A Tabela 14, traz essa série de dados levando em consideração o decréscimo anual do rendimento dos módulos FV.

Tabela 14 - Geração anual considerando decréscimo de rendimento

<b>Ano</b>	<b>Red. Rendimento Anual (%)</b>	<b>Geração Anual (kWh)</b>
1	2%	34252
2	0,55%	34064
3	0,55%	33876
4	0,55%	33690
5	0,55%	33505
6	0,55%	33320
7	0,55%	33137
8	0,55%	32955
9	0,55%	32774
10	0,55%	32593
11	0,55%	32414
12	0,55%	32236
13	0,55%	32058
14	0,55%	31882
15	0,55%	31707
16	0,55%	31532
17	0,55%	31359
18	0,55%	31187
19	0,55%	31015
20	0,55%	30844
21	0,55%	30675
22	0,55%	30506
23	0,55%	30338
24	0,55%	30171
25	0,55%	30005
<b>Total</b>		<b>802096 kWh</b>

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2022

Segundo o modelo sugerido pelo fabricante, ao final do ano 25, a geração anual representaria 85,85% da geração inicial. Durante esse período o sistema FV seria capaz de gerar um total de aproximadamente 802.096 kWh.

### 5.3.4 Interconexão dos Módulos FV

O cálculo das quedas de tensão para o sistema conjunto é feito de maneira análoga ao feito no Caso I. O modulo FV é o mesmo, o que irá mudar será o inversor usado, por suportar uma potência maior, logo, as quedas de tensão nos módulos serão a mesmas, já calculadas para o caso I.

A máxima tensão de entrada CC ( $V_{cc_{max}}$ ) suportada pelo inversor é de 1100 V, a faixa de tensão para funcionamento pleo do MPPT é vai de 250 V a 1000 V assim o número máximo de módulos FV que podem ser ligados em série é dado pela Equação 5.15.

$$\text{Numero de módulos em série} < \frac{1100}{51,01} < 21,56 \text{ módulos} \quad (5.22)$$

Dessa maneira o número máximo de módulos FV que podem ser ligados em série é 21, por esse critério.

Outro critério que deve ser avaliado é o intervalo de tensão ótima para o melhor funcionamento do MPPT, assim o número máximo de módulos em série é determinado pela razão entre a tensão máxima do MPPT ( $V_{mppt_{max}}$ ) e a tensão máxima no ponto de máxima potência ( $V_{mp_{max}}$ ), dada pela Equação 5.16.

$$\frac{V_{mppt_{max}}}{V_{mp_{max}}} = \frac{1000}{42,33} = 23,62 \text{ módulos em série} \quad (5.23)$$

Obedecendo os dois critérios, o número máximo de módulos FV que podem ser ligados em série é 21. Já o número mínimo de módulos em série é calculado de maneira análoga, sendo a razão entre a tensão mínima do MPPT ( $V_{mppt_{min}}$ ) e a tensão mínima no ponto de máxima potência ( $V_{mp_{min}}$ ), dada pela Equação 5.17.

$$\frac{V_{mppt_{min}}}{V_{mp_{min}}} = \frac{250}{34,46} = 7,25 \text{ módulos em série} \quad (5.24)$$

Por esse critério, o número mínimo de módulos FV que podem ser ligados em série é 8. Portanto, sabendo que o número máximo de módulos em série é 21 e o

sistema FV conjunto deve contar com ao menos 38 módulos para alcançar a potência dimensionada, o sistema FV deve conter ao menos duas *strings*.

A soma das correntes de cada *string* não pode superar os limites de cada entrada do inversor, sabendo que o inversor tem 5 entradas DC e cada entrada suporta até 25 A, o limite máximo de corrente através das *strings* deve ser 125 A. De acordo com o Anexo A, a corrente máxima através de cada *string* não pode superar 14,03 A, logo o número máximo de séries que podem ser ligadas em paralelo é dado pela Equação 5.21.

$$\text{Número de séries em paralelo} < \frac{125}{14,03} < 8,91 \quad (5.25)$$

Assim o número máximo de séries em paralelo é 8. Logo, serão 2 *strings* ligadas em paralelo, cada uma com 19 módulos ligados em série, o que mantém tanto a tensão máxima na entrada do inversor, quanto a tensão em máxima potência dentro dos limites do MPPT para o seu correto funcionamento, para todas as temperaturas possíveis que o módulo pode alcançar. A Tabela 15 mostra um resumo das configurações adotadas na interconexão dos módulos.

Tabela 15 - Interconexão dos módulos para o Caso II

	Nº de módulos por <i>string</i>	Nº de <i>strings</i>
<b>Sistema Conjunto</b>	19	2

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2022

## 5.4 Sistema de Proteção

### 5.4.1 Dimensionamento do Quadro de Proteção CC – *String box*

A norma brasileira de instalações elétricas de baixa tensão (NBR 5410) e a norma brasileira sobre sistemas FV (NBR 16690) preveem que as instalações devem ter como características básicas a proteção contra choque elétrico do usuário, proteção contra efeitos térmicos e incêndios, proteção contra sobrecorrente, proteção contra sobretensão e capacidade de seccionamento. Os sistemas FV estão inclusos

na cobertura das normas, portanto devem seguir os mesmos princípios básicos. A *string box* é o componente de proteção da parte CC do sistema FV (VINTURINI, 2019).

Os componentes básicos utilizados no sistema de proteção são os fusíveis, que tem a função de proteger algum surto de menor magnitude, os DPS, que protegem contra descargas atmosféricas que venham a causar danos ao inversor, e a chave seccionadora, específica para uso em CC, que permite a abertura do circuito para a realização de manutenções ou isolamento do sistema (MELO,2021).

### I) Fusíveis

De acordo com a NBR 16690 (seção 5.3.9), para definir se serão usados fusíveis nas *strings* se usa a seguinte relação

$$(N_{ro \text{ circuitos paralelo}} - 1) \times I_{SCMOD} > I_{MODMAX,OCPR} \quad (5.26)$$

Onde:

$I_{SCMOD}$ : Corrente de curto circuito da série;

$I_{MODMAX,OCPR}$ : Corrente reversa máxima do módulo FV.

Para fins práticos, se houver três ou mais circuitos em paralelo, deve-se usar fusíveis do tipo gPV em cada *string*.

### II) Dispositivos de proteção contra surtos de tensão (DPS)

A Função do DPS é proteger o circuito contra surtos de tensão ocasionados por descargas atmosféricas ou problemas no sistema gerador FV. Vale ressaltar que devem ser utilizados pelo menos 2 DPS por *string*, um para o condutor positivo e um para o negativo.

### III) Chave seccionadora de corrente contínua

Dispositivo essencial para permitir as manutenções do sistema FV sem que aja necessidade de desconexões diretas no inversor.

#### 5.4.2 Dimensionamento do Quadro de Proteção CA

O circuito CA entre a saída do inversor e o quadro de distribuição deve contar com dispositivos de proteção, assim como a *string box* do lado CC, afim de proteger o inversor de surtos provenientes da rede e prover um modo de desconexão do circuito (MELO,2021). Os elementos mínimos de segurança são disjuntor eletromagnético e DPS CA.

## **6 ANÁLISE FINANCEIRA**

A metodologia escolhida para a avaliação do aspecto financeiro desse estudo consiste na aplicação correta do índice de inflação (IPCA), escolha da taxa de atratividade para que o empreendimento seja considerado viável e avaliação do retorno obtido através do abatimento dos custos com eletricidade das unidades consumidoras.

### **6.1 Índices Financeiros**

#### **6.1.1 Inflação**

Inicialmente é importante entender o que é a inflação e como quantificá-la para o projeto. Inflação é o nome dado ao aumento dos preços de produtos e serviços. Ela é calculada pelos índices de preços, comumente chamados de índices de inflação. O IBGE produz dois dos mais importantes índices de preços: o IPCA, considerado o oficial pelo governo federal, e o INPC. O governo federal usa o IPCA como o índice oficial de inflação do Brasil. Portanto, ele serve de referência para as metas de inflação e para as alterações na taxa de juros (IBGE, 2022).

Entender o conceito de inflação é importante, já que, para o estudo, só é possível quantificar preços aplicados no presente momento, então para entender como esses preços tendem a variar em uma série temporal usa-se o IPCA como taxa base de variação desses preços no tempo. Como essas taxas tem um alto índice de variação, geralmente se usa uma média aritmética das médias anuais dessas taxas nos últimos dez anos, como representado na Tabela 16.

Tabela 16 - IPCA acumulado anual de 2011 a 2021

<b>Ano</b>	<b>IPCA Acumulado</b>
<b>2011</b>	6,50%
<b>2012</b>	5,84%
<b>2013</b>	5,91%
<b>2014</b>	6,41%
<b>2015</b>	10,67%
<b>2016</b>	6,29%
<b>2017</b>	2,95%
<b>2018</b>	3,75%
<b>2019</b>	4,31%
<b>2020</b>	4,52%
<b>2021</b>	10,06%
<b>Média</b>	<b>6,11%</b>

Fonte: IBGE, 2022

### 6.1.2 Taxa Mínima de Atratividade

A Taxa Mínima de Atratividade é um conceito muito importante aplicado na análise de investimentos. Trata-se de uma taxa de juros que representa o mínimo que o investidor se propõe a ganhar quando aplica seus recursos, ou o máximo que uma entidade está disposta a pagar quando faz um financiamento (MUNDO FINANCEIRO, 2022). Para este estudo a taxa de atratividade será a taxa do Sistema Especial de Liquidação e Custódia (SELIC) média acumulada dos últimos dez anos, mostrada na Tabela 17.



Tabela 17 - Taxa SELIC acumulada anual de 2011 a 2021

<b>Ano</b>	<b>SELIC Acumulada</b>
<b>2011</b>	11,04%
<b>2012</b>	8,17%
<b>2013</b>	7,92%
<b>2014</b>	10,40%
<b>2015</b>	12,54%
<b>2016</b>	13,20%
<b>2017</b>	9,53%
<b>2018</b>	6,24%
<b>2019</b>	5,79%
<b>2020</b>	2,72%
<b>2021</b>	4,30%
<b>Média</b>	<b>8,35%</b>

Fonte: Portal Brasil, 2022

Portanto a taxa de atratividade para a avaliação financeira será 8,35%.

## **6.2 Custos para Implementação do Sistema**

Estimar os custos iniciais é essencial para uma boa análise de viabilidade do projeto. É importante estimar os custos envolvidos tanto na aquisição dos equipamentos necessários para a implementação do sistema, como custos envolvidos na elaboração do projeto e sua devida implementação. Atualmente existem algumas formas de estimar os custos envolvidos na implantação de um sistema FV, uma dessas formas é fazer uma avaliação de mercado, comparando os valores cobrados por unidade de potência (R\$/Wp). Em 2022 a empresa Solfacil, disponibilizou o Radar Solfail, que, como já citado anteriormente no trabalho, trouxe um compilado de dados relacionados a empreendimentos de geração FV no Brasil, referentes ao primeiro trimestre de 2022. Esse relatório pode ser usado para avaliar se os preços praticados pelas empresas pesquisadas estão dentro da média de preços praticados no estado.

### 6.2.1 Avaliação de Mercado

Para uma visão mais abrangente, foi feita a pesquisa de mercado, comparando os valores cobrados por três empresa do setor de geração FV, estabelecidas no estado do Piauí, para a instalação dos sistemas dimensionados. Para o Caso I são dois sistemas distintos de 6,6 kWp e de 14,3 kWp de potência. Para o Caso II, apenas um sistema FV de 20,9 kWp de potência instalada. Foi também solicitado, se caso o cliente se interessasse, eles ofereceriam financiamento próprio e as condições de juros anuais para tal cenário. Além disso foram informadas as configurações estruturais de cada UC, modalidade tarifária e localização, ou seja, o valor fornecido já leva em consideração todos os custos relacionados a equipamentos, frete, mão de obra, projeto e regulamentações. Por solicitação dos administradores, as informações das empresas serão preservadas.

Tabela 18 - Custo por unidade de potência baseado na pesquisa de mercado regional.

	<b>Custo (R\$/Wp) 6,6 kWp</b>	<b>Custo (R\$/Wp) 14,3 kWp</b>	<b>Custo (R\$/Wp) 20,9 kWp</b>	<b>Taxa de Juros Financiamento</b>
<b>Empresa A</b>	5,642	5,366	4,856	12,79 % a.a.
<b>Empresa B</b>	5,272	4,979	4,464	Não informado
<b>Empresa C</b>	5,586	5,353	4,751	11,99 % a.a.
<b>Média</b>	<b>5,5</b>	<b>5,231</b>	<b>4,69</b>	<b>12,39 % a.a.</b>

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2022

A Tabela 18 mostra os preços praticados pelas três empresas. Esses preços são referentes a primeira quinzena de julho de 2022. Comparando esses valores com a média do preço praticado no Piauí em R\$/Wp. Segundo relatório da Solfacil é possível inferir que, para a faixa de preço do sistema de 6,6 kWp, o valor cobrado pelas empresas pesquisadas é 19,56% maior que a média do estado referente ao primeiro trimestre de 2022 (4,6 R\$/Wp). Já para a faixa de preço do sistema de 14,3 kWp, o valor cobrado pelas empresas pesquisadas é 18,89% maior que a média do estado referente ao primeiro trimestre de 2022 (4,4 R\$/Wp). Não é possível avaliar os

valores cobrados para o sistema de 20,9 kWp em relação ao relatório da Solfacil pois o mesmo só conta com a média de preço para sistemas FV de até 15 kWp.

Diante destes valores percebe-se que no segundo semestre de 2022 houve uma variação importante nos preços de sistemas FV. Isso pode ter se dado, entre vários fatores, pela instabilidade política e econômica que o país vivencia, acirrada pelas disputas políticas referentes ao ano eleitoral. Para o estudo serão adotados os preços médios adotados entre as três empresas, também disponíveis na Tabela 18.

### **6.2.2 Outros Custos**

De acordo com o estudo de Nascimento (2013), além dos custos citados acima, que são os referentes ao início do projeto, existem outros custos ao longo da vida útil dos equipamentos, como manutenção do sistema e troca de equipamentos. As manutenções em curto prazo se resumem em limpeza dos painéis FV, que podem ser executadas pelo proprietário do sistema, sendo desnecessária mão de obra especializada. Porém, quando instalados com uma inclinação mínima recomendada, a própria chuva se encarrega de fazer a retirada da poeira acumulada. Tomando como base o estudo de Falcão Jr. (2019), esses custos representam um custo aproximado de 0,5% a.a. do custo inicial do projeto.

Já no que diz respeito à troca de equipamento o custo mais significativo é sem dúvida a do inversor. Já que está sendo considerando um período de 25 anos que é a vida útil dos módulos segundo o fabricante, faz-se necessária a troca do inversor a cada 10 anos, que é o período de garantia oferecido pelo fabricante. Dessa maneira essa troca será feita nos anos 10 e 20, e poderá ser vista a frente na análise do fluxo de caixa. O custo relacionado à troca de inversores, segundo Falcão Jr. (2019), é estimado em 17% do investimento inicial, valor que será adotado no estudo.

## **6.3 Análise Financeira – Caso I**

### **6.3.1 Fluxo de Caixa**

Como já discutido na seção 2.3.2 desse trabalho, o fluxo de caixa visa ordenar em uma série temporal os custos e retornos de um investimento. Os custos já definidos anteriormente e os retornos através dos reembolsos gerados pela produção própria de eletricidade.

A Tabela 19 mostra estes reembolsos anuais considerando a inflação incidente sobre o valor do kWh na região de implantação do sistema que será de 6,11% a.a. O valor do kWh foi definido com base na tarifa vigente para as unidades consumidoras conectadas ao sistema de distribuição da Equatorial PI, tomando como base a fatura de energia das unidades no mês de maio de 2022, sendo a modalidade tarifária B3 para ambas.

Tabela 19 - Reembolso Estimado ao Longo de 25 anos para o Caso I

Ano	Valor do kWh Pref. (R\$)	Geração Pref. (kWh)	Valor do kWh Colégio (R\$)	Geração Colégio (kWh)	Reembolso (R\$)
1	0,93	10650	0,96	23436	R\$ 32.474,42
2	0,99	10591	1,02	23307	R\$ 34.268,56
3	1,05	10533	1,08	23179	R\$ 36.162,84
4	1,12	10475	1,15	23051	R\$ 38.160,67
5	1,18	10417	1,22	22924	R\$ 40.268,85
6	1,26	10360	1,29	22798	R\$ 42.494,74
7	1,33	10303	1,37	22673	R\$ 44.843,68
8	1,41	10246	1,46	22548	R\$ 47.321,01
9	1,50	10190	1,55	22424	R\$ 49.936,71
10	1,59	10134	1,64	22301	R\$ 52.697,03
11	1,69	10078	1,74	22178	R\$ 55.608,23
12	1,79	10023	1,85	22056	R\$ 58.682,09
13	1,90	9968	1,96	21935	R\$ 61.925,94
14	2,02	9913	2,08	21814	R\$ 65.347,11
15	2,14	9858	2,21	21694	R\$ 68.957,37
16	2,27	9804	2,34	21575	R\$ 72.769,47
17	2,41	9750	2,48	21456	R\$ 76.789,97
18	2,56	9697	2,64	21338	R\$ 81.035,31
19	2,71	9643	2,80	21221	R\$ 85.512,84
20	2,88	9590	2,97	21104	R\$ 90.237,87
21	3,06	9537	3,15	20988	R\$ 95.224,22
22	3,24	9485	3,34	20873	R\$ 100.489,61
23	3,44	9433	3,54	20758	R\$ 106.042,93
24	3,65	9381	3,76	20644	R\$ 111.903,49
25	3,87	9329	3,99	20530	R\$ 118.084,32
<b>Total</b>					<b>R\$ 1.667.239,28</b>

Fonte: Equatorial, 2022

Vale notar que, considerando que o consumo médio anual das unidades consumidoras se mantenha constante no valor de 23.352 kWh/ano e 10.896 kWh/ano

para colégio e prefeitura respectivamente, durante o período de estudo, analisando a Tabela 19, a produção anual do sistema se tornará inferior ao consumo das unidades, dessa maneira é importante considerar essa diferença na elaboração da tabela de reembolso e conseqüentemente no fluxo de caixa. A composição do custo inicial se dá pelo produto do preço médio (R\$/Wp) praticado pelas empresas, pela potência dos sistemas FV, R\$ 36.300,00 para o sistema FV da prefeitura e R\$ 74.803,30 para o sistema do colégio, somando R\$ 111.103,30 como custo inicial total para o Caso I. A Tabela 20 mostra os valores anualizados de custos, reembolsos e fluxos de caixa.

Tabela 20 - Valores anuais de custos, reembolsos e fluxos de caixa para o Caso I

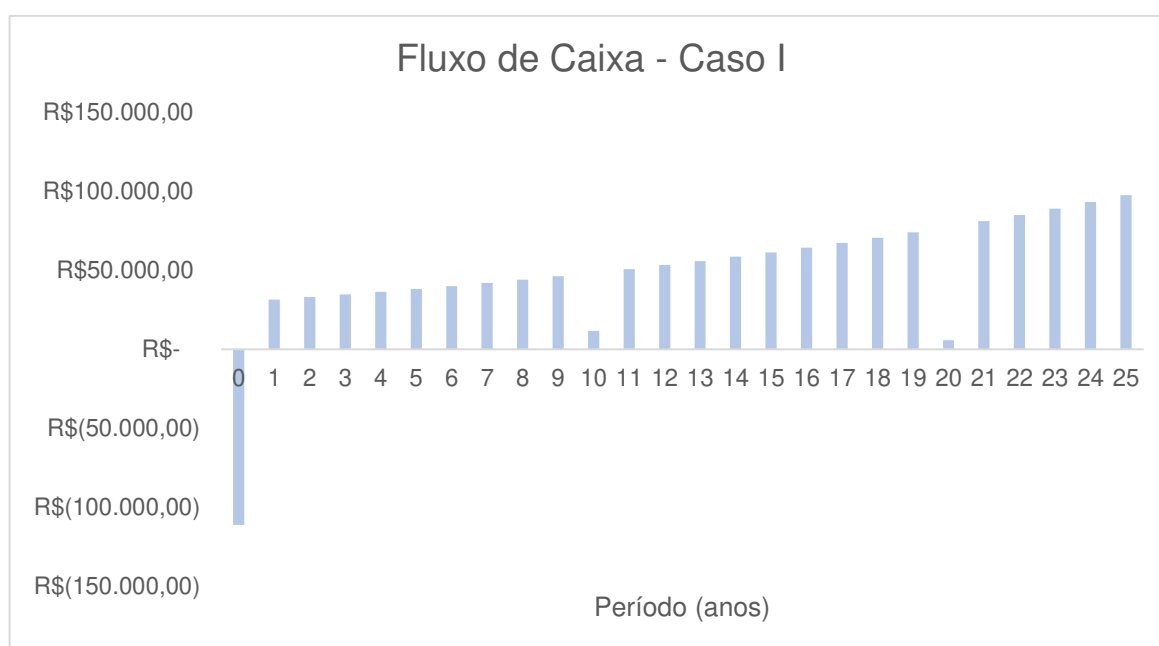
<b>Ano</b>	<b>Custos</b>	<b>Reembolso</b>	<b>Fluxo de Caixa</b>
<b>0</b>	R\$ 111.103,30	0	-R\$ 111.103,30
<b>1</b>	R\$ 920,97	R\$ 32.474,42	R\$ 31.553,45
<b>2</b>	R\$ 1.167,29	R\$ 34.268,56	R\$ 33.101,27
<b>3</b>	R\$ 1.438,13	R\$ 36.162,84	R\$ 34.724,70
<b>4</b>	R\$ 1.737,72	R\$ 38.160,67	R\$ 36.422,95
<b>5</b>	R\$ 2.067,33	R\$ 40.268,85	R\$ 38.201,52
<b>6</b>	R\$ 2.428,18	R\$ 42.494,74	R\$ 40.066,56
<b>7</b>	R\$ 2.824,04	R\$ 44.843,68	R\$ 42.019,64
<b>8</b>	R\$ 3.259,20	R\$ 47.321,01	R\$ 44.061,81
<b>9</b>	R\$ 3.733,96	R\$ 49.936,71	R\$ 46.202,75
<b>10</b>	R\$ 40.697,97	R\$ 52.697,03	R\$ 11.999,05
<b>11</b>	R\$ 4.821,36	R\$ 55.608,23	R\$ 50.786,87
<b>12</b>	R\$ 5.439,74	R\$ 58.682,09	R\$ 53.242,34
<b>13</b>	R\$ 6.113,74	R\$ 61.925,94	R\$ 55.812,20
<b>14</b>	R\$ 6.849,79	R\$ 65.347,11	R\$ 58.497,32
<b>15</b>	R\$ 7.650,76	R\$ 68.957,37	R\$ 61.306,62
<b>16</b>	R\$ 8.519,42	R\$ 72.769,47	R\$ 64.250,05
<b>17</b>	R\$ 9.465,67	R\$ 76.789,97	R\$ 67.324,31
<b>18</b>	R\$ 10.490,55	R\$ 81.035,31	R\$ 70.544,76
<b>19</b>	R\$ 11.605,25	R\$ 85.512,84	R\$ 73.907,58
<b>20</b>	R\$ 83.340,94	R\$ 90.237,87	R\$ 6.896,94
<b>21</b>	R\$ 14.124,26	R\$ 95.224,22	R\$ 81.099,96
<b>22</b>	R\$ 15.540,06	R\$ 100.489,61	R\$ 84.949,55
<b>23</b>	R\$ 17.076,15	R\$ 106.042,93	R\$ 88.966,78
<b>24</b>	R\$ 18.738,17	R\$ 111.903,49	R\$ 93.165,32
<b>25</b>	R\$ 20.539,54	R\$ 118.084,32	R\$ 97.544,78

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2022

Incidem nos custos, valor anual de manutenção de 0,5% ajustado anualmente pela inflação média adotada (6,11% a.a.), custo da diferença entre o consumo da UC e a geração, também ajustado anualmente pela inflação e nos anos 10 e 20, esses custos somados à troca dos inversores, definido em 17% do custo inicial do projeto, também ajustados pela inflação. Vale ressaltar que o custo inicial adotado é referente ao pagamento do sistema FV à vista. Duas das 3 empresas apresentam programas de financiamento com taxa média de juros de 12,39% a.a., o que elevaria o custo total do sistema FV dependendo do tempo escolhido para financiar o seu valor.

A Figura 26 mostra o comportamento do fluxo de caixa ao longo dos 25 anos, sendo bem visível a variação no fluxo de caixa nos anos 10 e 20, ocasionada pela troca dos inversores.

Figura 26 - Fluxo de caixa estimado no período de 25 anos para o Caso I

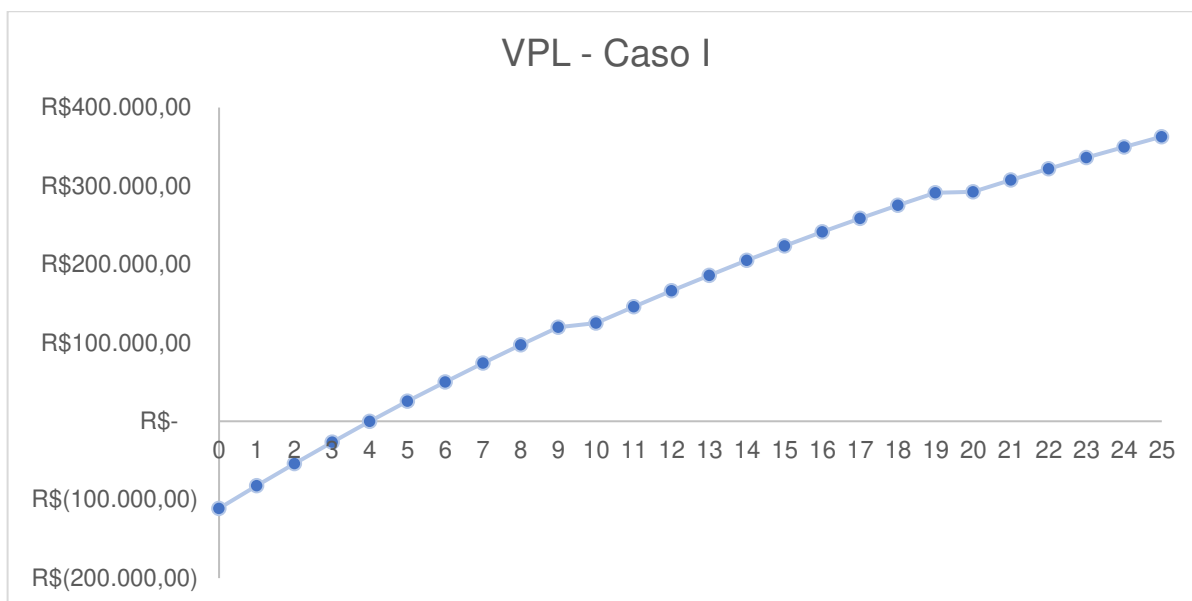


Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2022

### 6.3.2 Valor Presente Líquido (VPL)

Como tratado anteriormente na seção 2.3.3 do atual estudo, o valor presente líquido ou VPL, é um índice econômico usado para medir a viabilidade de um investimento ao longo do tempo, e leva em consideração a variação do fluxo de caixa no período e também a taxa média de atratividade adotada, já citada anteriormente. A Figura 27, mostra a variação do VPL ao longo do período de 25 anos.

Figura 27 - Variação do VPL ao longo do período de 25 anos para o Caso I

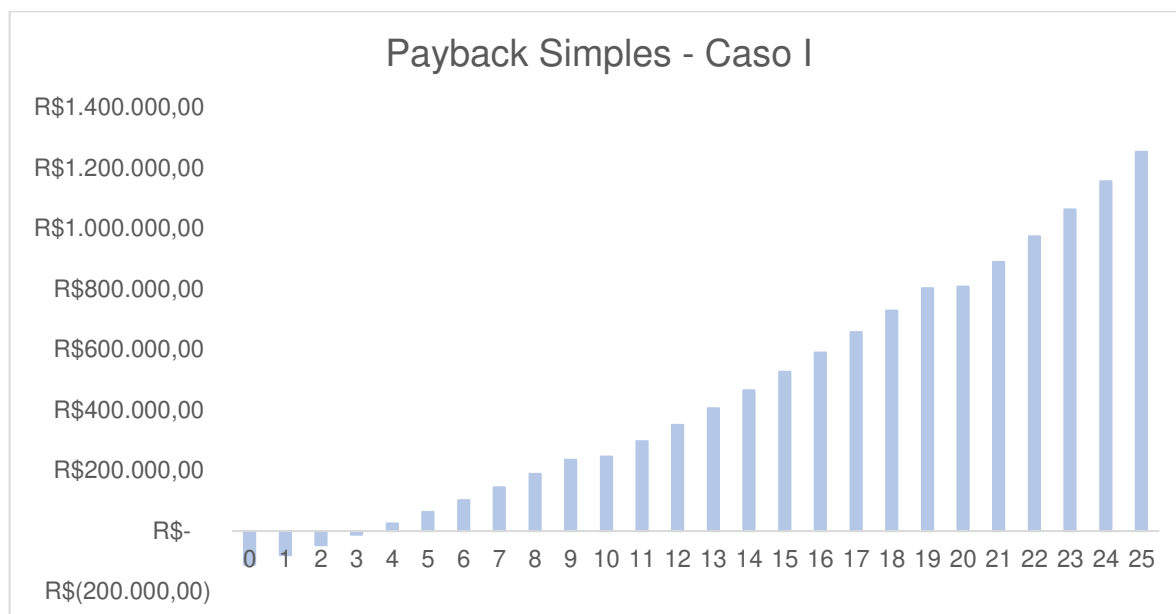


Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2022

Como citado anteriormente o VPL indica viabilidade do projeto a partir do momento que ele se torna positivo, a Figura 27 mostra que isso deve acontecer entre os anos 4 e 5, que é quando o investimento já se torna mais atrativos que investimentos atrelados à taxa SELIC, além disso ele não volta a ficar negativo em nenhum momento. Ao final dos 25 anos o VPL tem um valor de R\$ 362.911,58. Apenas isto, para este estudo, já indica um investimento com alta atratividade, mas vale ressaltar que ele não leva em consideração outros fatores que aumentam o valor agregado da UC como a valorização do imóvel e benefícios socioambientais como produtor de energia limpa, tornando o investimento não apenas viável, como altamente atraente.

### 6.3.3 Payback Simples

O *payback* simples é o tempo necessário para liquidar o investimento inicial e pode ser observado analisando o fluxo de caixa no período em estudo como mostrado na Equação 2.3. A Figura 28, mostra o intervalo de tempo em que se obtém o *payback* simples do investimento em estudo.

Figura 28 - Variação do *payback* simples ao longo de 25 anos para o Caso I

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2022

Analisando a Figura 28, vê-se que a curva cruza o eixo do tempo entre os anos 3 e 4 (3,32 anos), que é quando a soma dos fluxos de caixa passa de -R\$ 11.723,88 para R\$ 24.699,07 respectivamente.

### 6.3.4 Taxa Interna de Retorno (TIR) e ROI

A TIR calcula a taxa de desconto que um fluxo de caixa deve ter para que seu Valor Presente Líquido (VPL) se torne zero.

Para o Caso I, a TIR foi de 33%, um valor bem acima da taxa média de atratividade escolhida de 8,35%, mostrando, mais uma vez, um indicativo favorável à viabilidade do investimento. Já o retorno sobre o investimento (ROI) foi de aproximadamente 1130%.

## 6.4 Análise Financeira – Caso II

### 6.4.1 Fluxo de Caixa

Adotando a mesma metodologia usada para o Caso I, é necessário avaliar os reembolsos anuais. A Tabela 21 mostra estes reembolsos considerando a inflação incidente sobre o valor do kWh que será de 6,11% a.a. O valor do kWh foi definido



com base na tarifa vigente para as unidades consumidoras conectadas ao sistema de distribuição da Equatorial PI, tomando como base a fatura de energia da unidade no mês de maio de 2022, sendo a modalidade tarifária B3.

Tabela 21 - Reembolso Estimado ao Longo de 25 anos para o Caso II

<b>Ano</b>	<b>Custo do kWh (R\$)</b>	<b>Geração (kWh)</b>	<b>Reembolso (R\$)</b>
1	0,96	34252	R\$ 32.916,17
2	1,02	34064	R\$ 34.735,64
3	1,08	33876	R\$ 36.654,57
4	1,15	33690	R\$ 38.680,61
5	1,22	33505	R\$ 40.818,62
6	1,29	33320	R\$ 43.073,48
7	1,37	33137	R\$ 45.454,25
8	1,46	32955	R\$ 47.966,60
9	1,54	32774	R\$ 50.617,81
10	1,64	32593	R\$ 53.413,93
11	1,74	32414	R\$ 56.366,25
12	1,85	32236	R\$ 59.481,79
13	1,96	32058	R\$ 62.767,61
14	2,08	31882	R\$ 66.237,06
15	2,20	31707	R\$ 69.898,35
16	2,34	31532	R\$ 73.759,78
17	2,48	31359	R\$ 77.837,10
18	2,63	31187	R\$ 82.139,93
19	2,79	31015	R\$ 86.677,99
20	2,97	30844	R\$ 91.466,92
21	3,15	30675	R\$ 96.523,76
22	3,34	30506	R\$ 101.857,09
23	3,54	30338	R\$ 107.485,34
24	3,76	30171	R\$ 113.424,88
25	3,99	30005	R\$ 119.692,95
<b>Total</b>			<b>R\$ 1.689.948,48</b>

Fonte: Equatorial/PI, 2022

A partir dos reembolsos anuais é possível gerar o fluxo de caixa para o período de 25 anos, detalhado na Tabela 22.

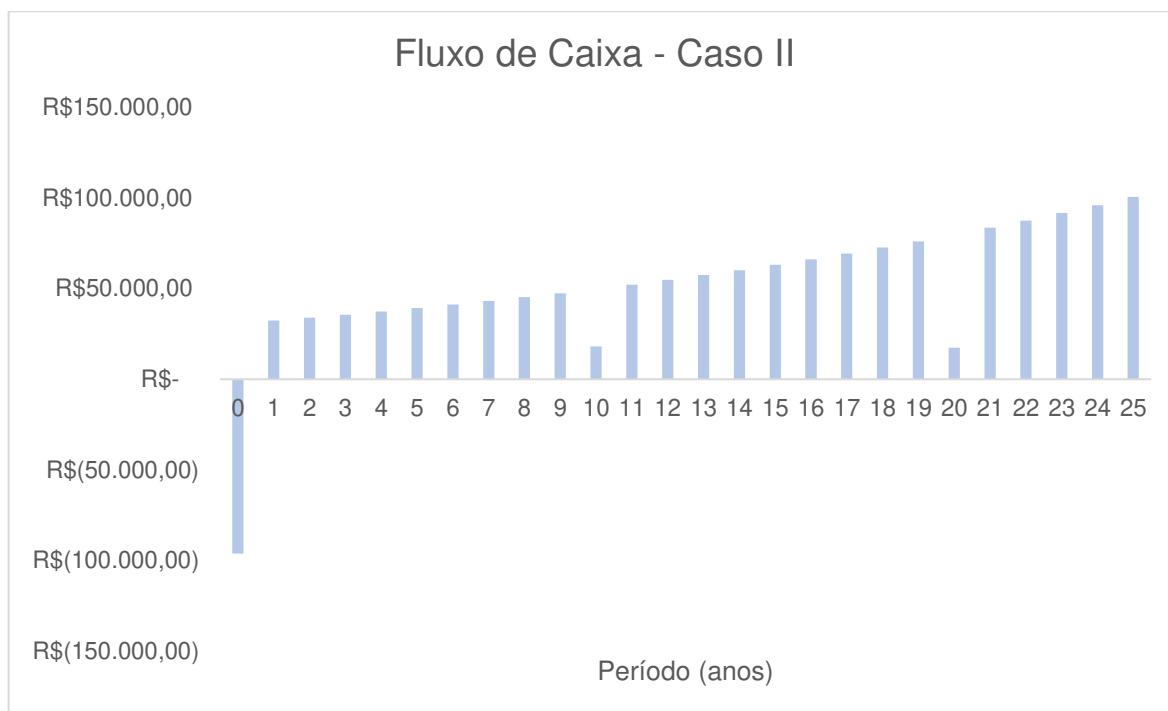
Tabela 22 - Valores anuais de custos, reembolsos e fluxos de caixa para o Caso II

Ano	Custos	Reembolso	Fluxo de Caixa
0	R\$ 96.145,00	0	-R\$ 96.145,00
1	R\$ 506,25	R\$ 32.916,17	R\$ 32.409,92
2	R\$ 728,89	R\$ 34.735,64	R\$ 34.006,75
3	R\$ 976,85	R\$ 36.654,57	R\$ 35.677,72
4	R\$ 1.250,09	R\$ 38.680,61	R\$ 37.430,53
5	R\$ 1.551,85	R\$ 40.818,62	R\$ 39.266,77
6	R\$ 1.885,82	R\$ 43.073,48	R\$ 41.187,66
7	R\$ 2.252,07	R\$ 45.454,25	R\$ 43.202,18
8	R\$ 2.654,57	R\$ 47.966,60	R\$ 45.312,03
9	R\$ 3.096,31	R\$ 50.617,81	R\$ 47.521,50
10	R\$ 35.384,51	R\$ 53.413,93	R\$ 18.029,43
11	R\$ 4.112,26	R\$ 56.366,25	R\$ 52.253,99
12	R\$ 4.691,97	R\$ 59.481,79	R\$ 54.789,82
13	R\$ 5.327,16	R\$ 62.767,61	R\$ 57.440,45
14	R\$ 6.018,30	R\$ 66.237,06	R\$ 60.218,76
15	R\$ 6.771,81	R\$ 69.898,35	R\$ 63.126,55
16	R\$ 7.594,92	R\$ 73.759,78	R\$ 66.164,86
17	R\$ 8.488,38	R\$ 77.837,10	R\$ 69.348,71
18	R\$ 9.460,03	R\$ 82.139,93	R\$ 72.679,90
19	R\$ 10.518,73	R\$ 86.677,99	R\$ 76.159,26
20	R\$ 74.131,44	R\$ 91.466,92	R\$ 17.335,48
21	R\$ 12.913,25	R\$ 96.523,76	R\$ 83.610,51
22	R\$ 14.266,53	R\$ 101.857,09	R\$ 87.590,56
23	R\$ 15.733,43	R\$ 107.485,34	R\$ 91.751,92
24	R\$ 17.322,56	R\$ 113.424,88	R\$ 96.102,32
25	R\$ 19.043,16	R\$ 119.692,95	R\$ 100.649,79

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2022

A metodologia utilizada para definir os custos anuais foi a mesma usada para no Caso I, dispensando o detalhamento. Vale ressaltar que o custo inicial adotado é referente ao pagamento do sistema FV à vista, composto pelo produto da potência do sistema (20,9 kWp) pelo preço médio das três empresas (4,69 R\$/Wp), totalizando R\$ 96.145,00. A Figura 29 mostra a variação do fluxo de caixa ao longo dos 25 anos.

Figura 29 - Fluxo de caixa estimado no período de 25 anos para o Caso II

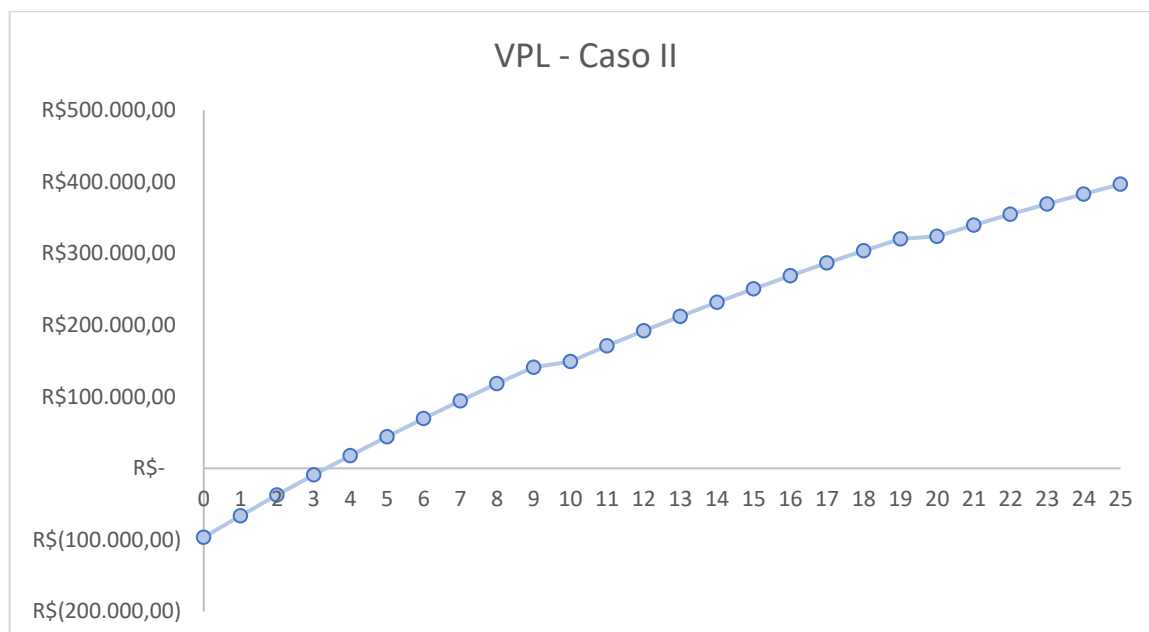


Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2022

#### 6.4.2 Valor Presente Líquido (VPL)

Para o Caso II, ao final dos 25 anos, o VPL teve um valor de R\$ 396.651,84. Indicando a viabilidade financeira para o Caso II. A Figura 30 mostra a variação do VPL anual, indicando que entre os anos 3 e 4, o VPL torna-se positivo.

Figura 30 - Variação do VPL ao longo do período de 25 anos para o Caso II

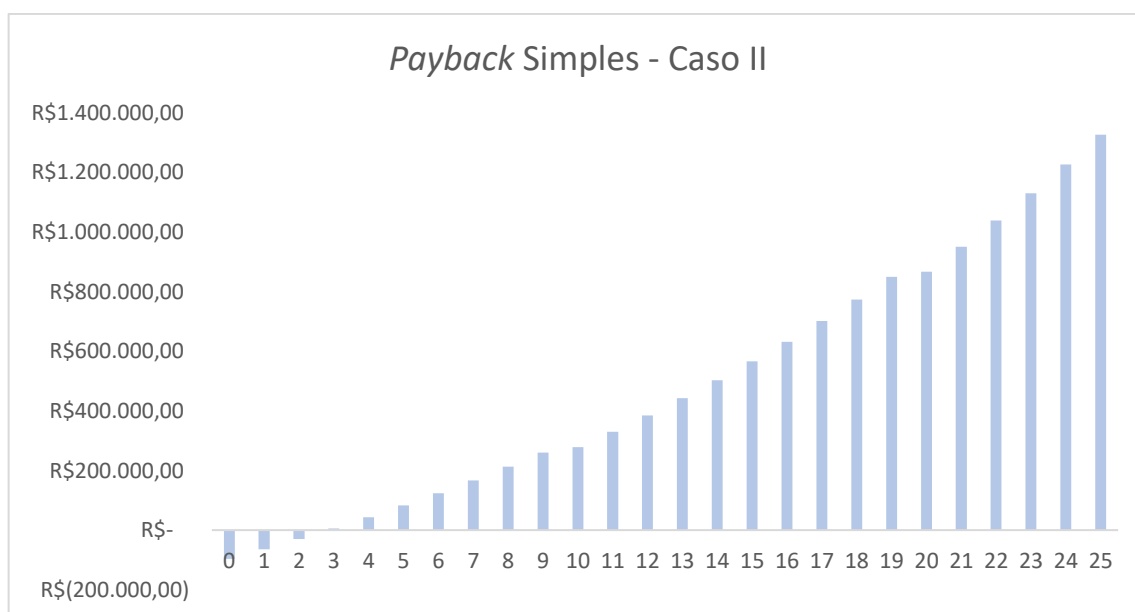


Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2022

### 6.4.3 Payback Simples

Para o Caso II, o *payback* se deu entre os anos 2 e 3 (2,86 anos). A variação do *payback* durante os 25 anos pode ser vista na Figura 31.

Figura 31 - Variação do *payback* simples ao longo de 25 anos para o Caso II



Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2022

#### **6.4.4 Taxa Interna de Retorno (TIR) e ROI**

Para o Caso II, a TIR foi de 38%, um valor bem acima da taxa média de atratividade escolhida de 8,35%, mostrando, mais uma vez, um indicativo favorável à viabilidade do investimento. Já o retorno sobre o investimento (ROI) foi de aproximadamente 1380%.

#### **6.5 Avaliação dos Resultado**

Para uma avaliação criteriosa de qual dos casos seria mais viável seria importante avaliar não apenas o aspecto financeiro, mas também toda a infraestrutura das duas UCs, mas devido à dificuldade de encontrar informações sobre a estrutura física e elétrica das UCs, a avaliação de viabilidade será pautada apenas nos índices financeiros calculados e apresentados nas seções anteriores.

O Caso I traz a possibilidade de cada UC poder compensar o seu consumo de eletricidade através de sistemas FV independentes. Por se tratar de um projeto que seria implementado na esfera da administração pública, esse aspecto não é tão relevante quanto os custos envolvidos com a implementação e manutenção dos sistemas FV.

O Caso II, possibilitado pelo sistema de compensação de energia, mostra vantagens financeiras e estruturais em relação ao Caso I, já que apresenta maior área de telhado disponível e configurações de telhado que entregam maior eficiência ao sistema FV dimensionado. Além disso, o fato das duas UCs participarem da mesma modalidade tarifária, permite que o consumo da unidade com menor consumo absoluto possa ter esse consumo compensado sem a aplicação de fatores de correção, já que a unidade de maior potência não tem tarifação especial para consumo em hora ponta. A Tabela 23, traz um comparativo entre os índices financeiros calculados para cada caso.

Tabela 23 - Comparativo entre os índices financeiros calculados para cada caso

	<b>Caso I</b>	<b>Caso II</b>
<b>Investimento</b>	R\$ 111.103,30	R\$ 96.145,00
<b>Reembolso total</b>	R\$ 1.253.980,58	R\$ 1.327.122,35
<b>VPL (25º ano)</b>	R\$ 362.911,58	R\$ 396.651,84
<b><i>Payback</i></b>	3,32 anos	2,86 anos
<b>TIR</b>	33%	38%
<b>ROI</b>	1130%	1380%

Fonte: Desenvolvido pelo autor, 2022

Do ponto financeiro, os dois casos sem mostram viáveis, mas o Caso II se sobressai em relação ao Caso I, já que apresenta todos os índices financeiros mais atrativos. O custo de implementação do sistema FV proposto no Caso II é menor, já que a média do preço cobrado pelas empresas pesquisadas é menor para a faixa de potência do sistema dimensionado. O reembolso total ao final dos 25 anos também é maior no caso II, o que se repete no VPL, TIR e ROI. Dessa forma é fácil concluir que o sistema FV proposto no Caso II é viável e mais atrativo que o proposto no Caso I.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como finalidade a avaliação da viabilidade técnica e financeira para a implementação de um sistema de geração FV capaz de suprir a demanda de dois prédios públicos no interior do Piauí, na cidade de Fronteiras. A metodologia para alcançar os resultados de viabilidade foi descrita e seguida ao longo do trabalho. Para a implementação do sistema foi necessário seguir as regulamentações nacionais e estaduais, através das recomendações previstas em normas técnicas já citadas anteriormente. Seguindo essas recomendações foi possível dimensionar um sistema capaz de abastecer as unidades consumidoras em dois cenários distintos, nomeados de Caso I e Caso II.

No Caso I, foram dimensionados dois sistemas FV, um para cada UC. 6,6 kWp foi a potência nominal do sistema FV dimensionado para suprir a demanda de energia elétrica da prefeitura, esse sistema FV contaria com apenas uma *string* de módulos, cobrindo uma área de telhado de aproximadamente 31 m<sup>2</sup> e contando com um inversor de tensão de 7 kW de potência. Já o sistema FV do colégio teria 14,3 kWp de potência e inversor de 15 kW, contando com duas *strings* cada uma com 13 módulos, totalizando 26 módulos no total, ocupando uma área de telhado de aproximadamente 67 m<sup>2</sup>.

No caso II, foi dimensionado um sistema que seria capaz de suprir a demanda de energia elétrica das duas UCs em conjunto, através do sistema de compensação de energia. A potência do sistema gerador dimensionado foi de 20,9 kWp, contando com duas *strings*, cada uma com 19 módulos, totalizando 38 módulos no total, ligados à um inversor de 22 kW de potência, esse sistema ocuparia uma área do telhado de ao menos 99,04 m<sup>2</sup>. Além disso, o sistema deve ser instalado no telhado do colégio Nossa Senhora de Fátima, que conta com uma área de telhado de 2840 m<sup>2</sup>, possibilitando uma enorme margem para expansão do sistema projetado, além de apresentar características que elevam o rendimento do sistema FV. Os sistemas dimensionados para ambos os casos foram projetados para serem conectados à rede de distribuição local.

Os custos iniciais envolvidos na implementação dos sistemas foram calculados através de uma pesquisa de mercado regional, que levantou preços praticados por três empresas do ramo de geração FV, podendo, a partir do preço médio praticados por essas empresas, estimar os custos iniciais para a implantação dos sistemas FV

em ambos os casos. Além disso foram quantificados outros custos anuais de manutenção dos sistemas, utilizados nas análises de viabilidade financeira.

Em seguida, foi feita a análise financeira para os dois casos, o que resultou em um investimento inicial de R\$ 111.103,30, com retorno do investimento em 3,32 anos, para o Caso I e investimento inicial de R\$ 96.145,00 com o retorno do investimento em 2,86 anos. O valor presente líquido (VPL) ao final de 25 anos foi de R\$ 362.911,58, para o Caso I e R\$ 396.651,84, para o Caso II. A taxa interna de retorno (TIR) foi de 33% para o Caso I e 38% para o Caso II. Além disso, o retorno sobre o investimento (ROI) foi de 1130% para o Caso I e de 1380% para o Caso II. Essas análises indicam que os sistemas propostos são viáveis em ambos os casos.

Avaliando todos os elementos deste trabalho é possível afirmar, através dos índices de avaliação de viabilidade financeira, que o projeto é viável e atrativo em ambos os cenários estudados, mas que devido aos índices financeiros calculados, o sistema FV proposto pelo Caso II é ainda mais atrativo do ponto de vista financeiro. Tais dados, levam a uma forte recomendação de implementação dos sistemas FV propostos, já que além de gerar uma drástica redução dos gastos relacionados ao consumo de eletricidade, influencia não só gestores locais, como de cidades próximas a adotar comportamentos mais sustentáveis.



## 8 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Além dos estudos do trabalho atual, pode-se desenvolver outros trabalhos afim de fornecer diferentes análises relacionadas a implementação de sistemas FV, além de outras formas de geração. Estão listadas abaixo, algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Avaliar como a economia gerada pela diminuição dos gastos com energia elétrica proveniente da distribuidora local, através da autogeração seria benéfica à população da cidade de Fronteiras/PI.
- Estudo de viabilidade técnica e financeira para a implementação de uma usina FV capaz de suprir a demanda de consumo de todos os prédios públicos de Fronteiras/PI;
- Estudo de implementação do sistema FV em conjunto com sistemas de *backup* de energia através de bancos de baterias, em unidades consumidoras de alta prioridade como Hospitais, Maternidades e Unidades de Pronto Atendimento (UPA);
- Estudo de implementação de usinas híbridas de geração, podendo ser utilizado o sistema FV em conjunto com sistemas eólicos, biomassa.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16690: Instalações Elétricas de Arranjos Fotovoltaicos — Requisitos de Projeto**. Rio de Janeiro, 2019.

ABSOLAR. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil – Infográfico ABSOLAR**. 2022. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>> Acessado em 13/03/2022.

ALBUQUERQUE, Maria Karen de Oliveira. **Estudo de Viabilidade para Implementação de um Sistema Fotovoltaico em um Parque de Abastecimento de Aeronaves em Fortaleza/CE**. 104 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2020.

ANEEL. **Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica**. 2.ed. Brasília, DF, maio 2016.

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012**. [S.I.], abr. 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>> Acessado em 08/04/2022.

ARAÚJO, A. J. N.; RANK, N. I.; BUENO, T. B. A. **Análise dos Fatores de Perdas nos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica em Curitiba**. 85 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

ASSAF Neto, Alexandre - **Finanças corporativas e valor**: 5ª ed. - São Paulo: Atlas, 2010.

BARRETO, Sofia da Costa. **Estudo de Viabilidade para Implementação de uma Planta Fotovoltaica Integrada em um Shopping Center de Fortaleza**. 80 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2017.

BLOG MAGNETIS. **O que é investimento? Entenda tudo sobre o conceito de investimento financeiro**. Disponível em: <<https://blog.magnetis.com.br/o-que-e-investimento/>>. Acesso em: 6 abr. 2022.

BORGES NETO, M. R. CARVALHO, P. C. M. **Geração de Energia Elétrica: fundamentos**. 1ª ed. São Paulo, SP: Érica, 2012. ISBN 978-85-365-0422-3.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2031**. Brasília, DF. 2022.

CANAL SOLAR. **Contratos do Grupo B em Geração Distribuída**. 2020. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/contratos-do-grupo-b-em-geracao-distribuida/>> Acessado em: 15/07/2022

CLIMATEMPO. **Levantamento de dados climatológicos – Fronteiras/PI.** 2022. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/fronteiras-pi>> Acessado em 20/05/2022.

CRESESB. **Potencial Solar Sun Data v 3.0.** 2018. Disponível em:<<http://cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>> Acessado em 25/05/2022.

DIAS, César Luiz de Azevedo. **Modelos de Avaliação de Desempenho de Diferentes Tecnologias de Geração Fotovoltaica: Estudo de Caso para Região dos Lagos.** Tese de Doutorado (Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

EQUATORIAL. Equatorial Energia Piauí. **Norma Técnica nº 020 - Conexão de Microgeração distribuída ao Sistema de Distribuição.** 2022. Disponível em:<<https://pi.equatorialenergia.com.br/institucional/normas-tecnicas/#lista-normas>> Acessado em 12/04/2022.

EQUATORIAL. Equatorial Energia Piauí. **Norma Técnica nº 021 - Conexão de Microgeração distribuída ao Sistema de Distribuição.** 2022. Disponível em:<<https://pi.equatorialenergia.com.br/institucional/normas-tecnicas/#lista-normas>> Acessado em 12/04/2022.

FALCÃO JR., Francisco Wilson. **Viabilidade técnica e financeira de planta fotovoltaica para geração descentralizada no Aeroporto Comandante Ariston Pessoa em Jericoacoara/CE (JJD).** 2019. 114f. Dissertação de Mestrado {Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

FLANDOLI, Fabio. **Concepção, Aplicação e Funcionamento de Módulos Fotovoltaicos.** 2017. Programa Eletricista Consciente. Disponível em:<<http://www.eletricistaconsciente.com.br/pontue/fasciculos/2-celulas-e-modulos-fotov>>. Acesso em: 31 mar. 2022.

GOOGLE. **Google Earth.** 2022. Disponível em: <<https://earth.google.com/web/@-7.08750112,-40.61655492,774.18025931a,2.67963415d,35y,357.20291681h,0t,0r>> Acessado em 25/05/2022.

GROWATT. **Datasheet Inversor Growatt – Modelo MOD 7000TL3-X.** 2022. Disponível em: < <https://www.ginverter.pt/show-40-645.html> > Acessado em 15/07/2022

GROWATT. **Datasheet Inversor Growatt – Modelo MID 15KTL3-X.** 2022. Disponível em: <<https://www.ginverter.pt/show-41-642.html>> Acessado em 15/07/2022

GUIMARÃES, P. H. A. **Projeto e Implementação de Planta Fotovoltaica de 65 kWp.** 93 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2018.

HECKTHEUER, L. A.; KRENZINGER, A. **Análise de Associações de Módulos Fotovoltaicos**. 108 p. Tese de Doutorado (Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

IBGE. **Dados dos Municípios: Fronteiras/PI**. 2022. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pi/fronteiras/panorama>> Acessado em 16/04/2022.

IBGE. **Inflação**. 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/inflacao.php#:~:text=O%20governo%20federal%20usa%20o,altera%C3%A7%C3%B5es%20na%20taxa%20de%20juros.>> Acessado em 16/05/2022.

IBGE. **Panorama dos Estados do Brasil - Piauí**. 2022. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pi/panorama>> Acessado em 13/07/2022.

INSTITUTO IDEAL. **O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída FV**. 6ª ed. 2019. Disponível em: <[https://issuu.com/idealeco\\_logicas/docs/o\\_mercado\\_brasileiro\\_de\\_gera\\_\\_o\\_distribu\\_\\_da\\_fv\\_-\\_e](https://issuu.com/idealeco_logicas/docs/o_mercado_brasileiro_de_gera__o_distribu__da_fv_-_e)>. Acesso em: 25 mai. 2022.

JINKO. **Datasheet Módulo Jinko Solar 550w – Modelo JKM550M-72HL4 - V**. 2020. Disponível em: < [https://jinkosolarcdn.shwebspace.com/uploads/JKM535-555M-72HL4-\(V\)-F3-EN.pdf](https://jinkosolarcdn.shwebspace.com/uploads/JKM535-555M-72HL4-(V)-F3-EN.pdf) > Acessado em 17/07/2022.

MELO, I. M. d. **Estudo de Viabilidade para Implantação de um Sistema de Geração Fotovoltaica em uma Fazenda no Interior do Ceará**. 78 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2021.

MIRANDA, R. M. **Projeto de usina de geração fotovoltaica de larga escala em terra no Brasil**. 2016. Projeto técnico de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

MUNDO FINANCEIRO. **TMA – Taxa Mínima de Atratividade**. 2022. Disponível em: <<https://www.mundofinanceiro.com.br/taxa-minima-de-atratividade/>> Acessado em 16/05/2022.

NASCIMENTO, L. R. **A avaliação de longo prazo de um sistema fotovoltaico integrado à edificação urbana e conectado à rede elétrica pública**. Dissertação (Mestrado) - UFSC, Florianópolis, SC, 2013.

PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2ª ed., São José dos Campos, SP: INPE, 2017.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES, CEPEL – CRESESB, edição revisada e atualizada. Rio de Janeiro, RJ: CEPEL/CRESESB, 2014.

PORTAL SOLAR. **Nordeste bate novo recorde em geração de energia fotovoltaica**. 2021. Disponível em:

<<https://www.portalsolar.com.br/noticias/mercado/geracao-distribuida/nordeste-bate-novo-recorde-em-geracao-de-energia-fotovoltaica>> Acessado em 16/02/2022.

PVSYST. **PVsyst Photovoltaic Software – Versão 7.2**. 2022. Disponível em:<<https://www.pvsyst.com/>> Acessado em: 27/05/2022.

REVISTA PRINCIPIA. **Desempenho de um sistema solar fotovoltaico com diferentes inclinações e orientações**

**azimutais em cidades da Paraíba**. 2018. Disponível em:

<<https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/viewFile/1950/1000#:~:text=Verificou%2Dse%20que%2C%20em%20todas,em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20ao%20sistema%20ideal.>> Acessado em 15/07/2022

RUTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. [S.l.]: LABSOLAR, 2004.

SAMANEZ, C. P. **Engenharia Econômica**. São Paulo: Pearson, 2009.

SEBRAE. **O que é o fluxo de caixa e como aplicá-lo no seu negócio**. 2022.

Disponível em:<<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/fluxo-de-caixa-o-que-e-e-como-implantar,b29e438af1c92410VgnVCM100000b272010aRCRD>> Acessado em 06/04/2022.

SILVA, Karlos Daniel Menezes e. **Projeto de minigeração distribuída solar fotovoltaica de 3 MW para o Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará**. 94 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2016.

SOUSA, M. L. A. **Uso de bombeamento fotovoltaico para irrigação de unidades de produção agrícola de pequeno porte**. 78 p. Monografia (Graduação) - UFC, Fortaleza, CE, 2014.

SOUZA, Ronilson di. **Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica – Livro Digital de Introdução aos Sistemas Solares**. Blue Sol Energia Solar. Ribeirão Preto, SP, 2016.

SUNEARTHTOOLS. **Ferramentas para Designers e Consumidores de Energia Solar**. 2022. Disponível em:

<[https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos\\_sun.php?lang=pt](https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=pt)> Acessado em 15/07/2022.

TIRAPELLE, G. A. H.; MURA, L. B.; FRAZÃO, L. **Análise da Viabilidade Técnica de Painéis Solares Fotovoltaicos Conectados à Rede, com Backup de Energia, Instalados em Postos de Combustíveis**. 145 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

URBANETZ JR, J. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: Sua Influência na Qualidade da Energia elétrica e Análise dos Parâmetros que Possam Afetar a Conectividade.** Tese de Doutorado (Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

VILLALVA, M. G.; **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações.** 2. ed. São Paulo: Érica, 2015. ISBN 978-85-365-1854-1.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações.** 1. ed. São Paulo: Érica, 2012. ISBN 978-85-365-0416-2.

VINTURINI, Matheus Pateti. **Entenda as especificações básicas dos componentes da string box.** 2019. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/entenda-as-especificacoes-basicas-string-box/>> Acessado em 27/04/2022.

WARREN MAGAZINE. **Taxa Interna de Retorno (TIR): o que é, por que importa e como calcular.** 2021. Disponível em: <<https://warren.com.br/magazine/taxa-interna-de-retorno-tir/>> Acessado em 16/06/2022.

WIKIPÉDIA. **Fronteiras (Piauí).** 2021. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Fronteiras\\_\(Piau%C3%AD\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Fronteiras_(Piau%C3%AD))> Acessado em 16/04/2022.

# Anexo A – Ficha Técnica Módulo Jinko Solar JKM550M-72HL4 - V – 550 Wp

www.jinkosolar.com



## Tiger Pro 72HC 535-555 Watt

MONO-FACIAL MODULE

### P-Type

Positive power tolerance of 0~+3%

IEC61215(2016), IEC61730(2016)

ISO9001:2015: Quality Management System

ISO14001:2015: Environment Management System

ISO45001:2018

Occupational health and safety management systems



MBB HC Technology

## Key Features



### Multi Busbar Technology

Better light trapping and current collection to improve module power output and reliability.



### Reduced Hot Spot Loss

Optimized electrical design and lower operating current for reduced hot spot loss and better temperature coefficient.



### Longer Life-time Power Yield

0.55% annual power degradation and 25 year linear power warranty.



### Durability Against Extreme Environmental Conditions

High salt mist and ammonia resistance.



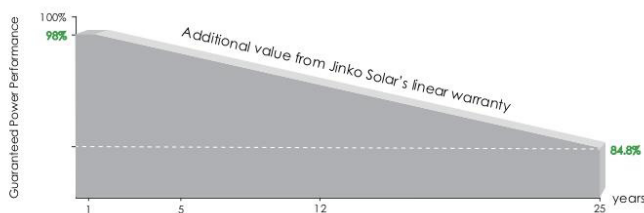
### Enhanced Mechanical Load

Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).



POSITIVE QUALITY  
Continued Quality Improvement

## LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

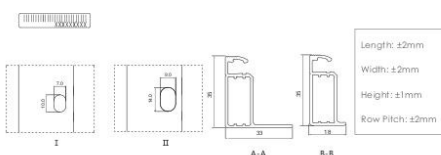
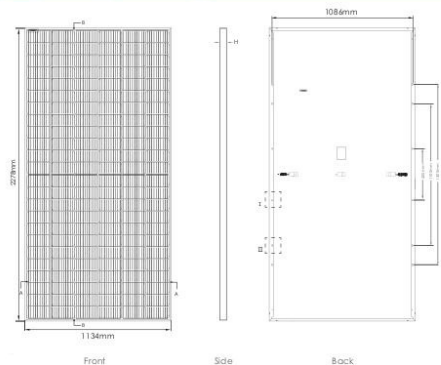


12 Year Product Warranty

25 Year Linear Power Warranty

0.55% Annual Degradation Over 25 years

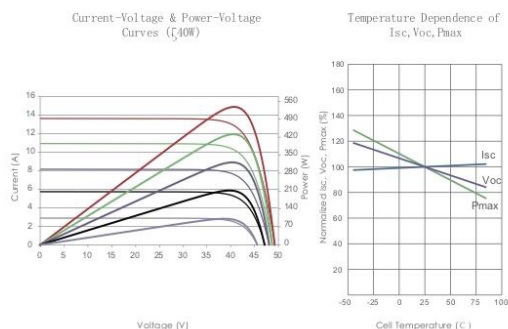
### Engineering Drawings



### Packaging Configuration

( Two pallets = One stack )  
 31pcs/pallets, 62pcs/stack, 620pcs/ 40HQ Container

### Electrical Performance & Temperature Dependence



### Mechanical Characteristics

Cell Type	P type Mono-crystalline
No. of cells	144 (6×24)
Dimensions	2278×1134×35mm (89.69×44.65×1.38 inch)
Weight	28 kg (61.73 lbs)
Front Glass	3.2mm Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm (+): 400mm , (-): 200mm or Customized Length

### SPECIFICATIONS

Module Type	JKM535M-72HL4		JKM540M-72HL4		JKM545M-72HL4		JKM550M-72HL4		JKM555M-72HL4	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	535Wp	398Wp	540Wp	402Wp	545Wp	405Wp	550Wp	409Wp	555Wp	413Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	40.63V	37.91V	40.70V	38.08V	40.80V	38.25V	40.90V	38.42V	40.99V	38.59V
Maximum Power Current (Imp)	13.17A	10.50A	13.27A	10.55A	13.36A	10.60A	13.45A	10.65A	13.54A	10.70A
Open-circuit Voltage (Voc)	49.34V	46.57V	49.42V	46.65V	49.52V	46.74V	49.62V	46.84V	49.72V	46.93V
Short-circuit Current (Isc)	13.79A	11.14A	13.85A	11.19A	13.94A	11.26A	14.03A	11.33A	14.12A	11.40A
Module Efficiency STC (%)	20.71%		20.90%		21.10%		21.29%		21.48%	
Operating Temperature (°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	25A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.35%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

\*STC: ☀ Irradiance 1000W/m<sup>2</sup> 📱 Cell Temperature 25°C ☁ AM=1.5  
 NOCT: ☀ Irradiance 800W/m<sup>2</sup> 📱 Ambient Temperature 20°C ☁ AM=1.5 🌀 Wind Speed 1m/s



## Anexo B – Ficha Técnica do Inversor Growatt – Modelo MOD 7000TL3-X

Ficha de dados	MOD 3000TL3-X	MOD 4000TL3-X	MOD 5000TL3-X	MOD 6000TL3-X	MOD 7000TL3-X	MOD 8000TL3-X	MOD 9000TL3-X
<b>Dados de entrada</b>							
Máxima potência fotovoltaica recomendada (para módulo STC)	4500W	6000W	7500W	9000W	10500W	12000W	13500W
Máxima tensão CC				1100V			
Tensão de partida				200V			
Faixa de tensão MPPT/ tensão nominal				580V			
Faixa de tensão MPPT				140V-1000V			
Número de MPP trackers				2			
Número de Strings por MPP tracker				1			
Máxima corrente de entrada por MPP tracker				13A			
Máxima corrente de curto-circuito por MPP tracker				16A			
<b>Saída</b>							
Máxima potência nominal CA	3000W	4000W	5000W	6000W	7000W	8000W	9000W
Máxima potência aparente CA	3300VA	4400VA	5500VA	6600VA	7700VA	8800VA	9900VA
Tensão nominal CA	220V/380V, 230V/400V (340-440V)						
Frequência da rede CA	50/60 Hz (45-55Hz/55-65 Hz)						
Máxima corrente de saída	5.0A	6.7A	8.3A	10.0A	11.7A	13.3A	15.0A
Fator ajustável de potência				0.8i-0.8c			
THDI				<3%			
Tipo de conexão da rede CA				3W+N+PE			
<b>Eficiência</b>							
Máxima eficiência	98.3%	98.3%	98.3%	98.3%	98.6%	98.6%	98.6%
Eficiência europeia	97.5%	97.5%	97.5%	97.5%	98.1%	98.1%	98.1%
Eficiência MPPT	99.9%						
<b>Proteções</b>							
Proteção de polaridade reversa CC				Sim			
Interruptor CC				Sim			
Proteção CA/CC de surtos				Type II / Type II			
Monitoramento de resistência de isolamento				Sim			
Proteção de curto circuito CA				Sim			
Monitoramento de falha da terra				Sim			
Monitoramento da rede				Sim			
Proteção anti-ilhamento				Sim			
Unidade de monitoramento da corrente residual				Sim			
Monitoramento de falha da string				Sim			
Proteção AFCI				OPC			
<b>Dados Gerais</b>							
Dimensões LxP	425/387/138mm	425/387/138mm	425/387/138mm	425/387/138mm	425/387/178mm	425/387/178mm	425/387/178mm
Peso	13.5kg	13.5kg	13.5kg	13.5kg	15kg	15kg	15kg
Faixa de temperatura operacional	- 25°C ... + 60°C						
Consumo noturno	< 1W						
Topologia	Sem transformador						
Resfriamento	Natural						
Nível de proteção	IP66						
Humidade relativa	0-100%						
Altitude	4000m						
Conexão CC	H4/MC4(OPC)						
Conexão CA	Connector						
Display	OLED+LED/WIFI+APP						
Interfaces: USB/R3485/WIFI/GPRS /4G/LAN/RF	Sim/Sim/OPC/OPC/OPC/OPC						
Garantia: 5 anos / 10 anos	Sim/OPC						
CE, VDE0126, Greece, EN50549, C10/C11, ITC C 15-712, IEC62116, IEC61727, IEC 60068, IEC 61683, CEI0-21, N4105, TOR Erzeuger G98/G99, G100, AS4777, UNE217001, UNE206007, PO12.2							

## Anexo C – Ficha Técnica do Inversor Growatt – Modelos MID 15KTL3-X e MID 22KTL3-X

Ficha de dados	MID 15KTL3-X	MID 17KTL3-X	MID 20KTL3-X	MID 22KTL3-X	MID 25KTL3-X
<b>Dados de entrada</b>					
Máxima potência fotovoltaica recomendada (para o módulo STC)	22500W	25500W	30000W	33000W	37500W
Máxima tensão CC	1100V				
Tensão de partida	250V				
Faixa de tensão MPPT	180V-1000V				
Tensão nominal	580V				
Número de MPPT independentes / strings por MPPT	2/2+2	2/2+2	2/2+2	2/2+2	2/2+3
Máxima corrente de entrada por string	25A	25A	25A	25A	25A/37.5
Máxima corrente de entrada	32A	32A	32A	32A	32A/48A
<b>Saída (CA)</b>					
Potência nominal de saída CA	15000W	17000W	20000W	22000W	25000W
Potência aparente máxima de CA	16600VA	18800VA	22000VA	22000VA	25000VA
Tensão nominal CA(Faixa)	220V/380V(340-440V)				
Frequência da rede CA(Faixa)	50/60 Hz(45-55Hz/55-65 Hz)				
Máxima corrente de saída	24.2A	27.4A	31.9A	31.9A	36.2A
Fator ajustável de potência	0.8-0.8c				
THDi	<3%				
Tipo de conexão de rede CA	3W + N + PE				
<b>Eficiência</b>					
Máxima eficiência	98.75%				
Eficiência europeia	98.10%				
Eficiência MPPT	99.90%				
<b>Dispositivos de proteção</b>					
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				
Monitoramento de falha de string	opcional				
Proteção AFCI	opcional				
<b>Dados Gerais</b>					
Dimensões (L/A/P)	525/395/222mm				
Peso	23kg				
Faixa de temperatura operacional	-25 °C ... +60 °C				
Auto-consumo à noite	<1W				
Topologia	Sem transformador				
Forma de refrigeração	Arefecimento inteligente				
Grau de proteção ambiental	IP65				
Altitude	4000m				
Humidade relativa	0-100%				
Conexão CC	H4 / MC4 (opcional)				
<b>Características</b>					
Exibição	OLED+LED WIFI+APP				
Interfaces: USB/RS485/WIFI/GPRS/4G	sim/sim/opcional/opcional/opcional				
IEC61000-6/3, IEC 62109-1/2, IEC 61727, IEC 62116					