



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ALANA PEREIRA DE SOUSA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE UM
SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE DE DUAS
REPARTIÇÕES PÚBLICAS NO MUNICÍPIO DE MONTE ALEGRE DO PIAUÍ**

Palmas -TO
2021

ALANA PEREIRA DE SOUSA

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE UM
SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE DE DUAS REPARTIÇÕES
PÚBLICAS NO MUNICÍPIO DE MONTE ALEGRE DO PIAUÍ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal do Tocantins, como requisito
parcial para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. M^º. Alcy Monteiro Júnior

Palmas -TO

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- S725a Sousa, Alana Pereira de .
 Análise de viabilidade econômica para a implementação de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede de duas repartições públicas no município de Monte Alegre do Piauí. / Alana Pereira de Sousa. – Palmas, TO, 2021.
 74 f.

 Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Elétrica, 2021.
 Orientador: Alcy Monteiro Júnior

 1. Energia solar. 2. Sistema Fotovoltaico. 3. Análise Econômica. 4. Universidade Federal do Tocantins. I. Título

CDD 621.3

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

ALANA PEREIRA DE SOUSA

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA A IMPLEMENRAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE DE DUAS REPARTIÇÕES PÚBLICAS NO MUNICÍPIO DE MONTE ALEGRE DO PIAU

Projeto de Graduação foi avaliado e apresentado à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Elétrica, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 17 /12 / 2021

Banca Examinadora



Assinado digitalmente por ALCY MONTEIRO JUNIOR:02054783102
DN: C=BR, O=ICP-Brasil, OU=AC SOLUTI Multipla v5,
OU=32075287000105, OU=Presencial, OU=Certificado PF A1,
CN=ALCY MONTEIRO JUNIOR:02054783102
Razão: Eu atesto a precisão e a integridade deste documento
Localização: Palmas - TO
Data: 2021.12.17 16:49:21-03'00'

Prof. M^c. Alcy Monteiro Júnior, UFT



Prof. M^c. Alex Vilarindo Menezes, UFT



Assinado de forma digital por Gisele Souza Parmezzani Marinho
DN: cn=Gisele Souza Parmezzani Marinho, o=Universidade
Federal do Tocantins - UFT, ou=Engenharia Elétrica - Campus de
Palmas, email=giselemarinho@uft.edu.br, c=BR
Dados: 2021.12.17 16:54:48 -03'00'

Prof^a. M^a. Gisele Souza Parmezzani Marinho, UFT

Palmas, 2021

AGRADECIMENTOS

Á Deus, por me guiar e proteger no caminho do bem e sempre dai-me forças para não desistir dessa jornada.

Aos meus pais, Maria Gorety e Pedro Eimard, que mesmo com toda a dificuldade, nunca mediram esforços para que eu pudesse ter o melhor futuro possível, mesmo distantes, sempre estiveram presentes, com todo apoio e amor. Essa vitória é nossa!

À minha irmã Aline Pereira e minha tia Maria Gloriete, pelo apoio e por estarem sempre presentes em todos os momentos mais difíceis.

Aos meus amigos, pelo companheirismo e apoio durante esses 5 anos de faculdade, em especial a Eduarda e Murilo que se fizeram presentes todos os dias dessa jornada.

A todos os professores que me ajudaram e fizeram parte dessa caminhada, em especial ao meu professor orientador Alcy Monteiro Júnior, pela orientação, apoio e incentivo para elaboração do trabalho.

RESUMO

O consumo de energia aumenta com o desenvolvimento econômico e, devido às preocupações com questões ambientais, a produção de forma sustentável é indispensável. O trabalho apresenta um estudo sobre a viabilidade econômica da implantação de dois sistemas fotovoltaicos conectado à rede elétrica, um na sede da prefeitura e outro em um prédio público da prefeitura localizado no povoado Ingazeira, ambos na cidade de Monte Alegre do Piauí. Neste estudo, foram coletados dados para obtenção dos consumos de energia, índice de radiação solar e valores de energia cobrados pelas concessionárias locais. O sistema fotovoltaico da Sede da Prefeitura compreende à um gerador fotovoltaico composto de 32 módulos fotovoltaicos e um inversor, com potência nominal de 17,12 kWp para a produção de 28.749,1 kWh de energia ao ano. No sistema do Povoado Ingazeira, tem-se um gerador fotovoltaico composto de 82 módulos fotovoltaicos e um inversor, com potência nominal total de 43,87 kWp para produzir um total de 73.669,6 kWh de energia ao ano. As análises foram desempenhadas mediante a indicadores de viabilidade econômica, *payback* descontado, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR). Os resultados obtidos demostram o projeto como economicamente viável para implantação, com tempo de retorno do investimento em 5 anos para ambos os sistemas, VPL para o ano 25, positivo, de R\$ 2.473.885,30 e TIR para o ano 25 de 32,66 % para a Sede da Prefeitura e VPL para o ano 25, positivo, de R\$ 6.259.350,75 e TIR para o ano 25 de 33,57%.

Palavras-Chave: Sistema Fotovoltaico. Viabilidade econômica. *Payback* descontado. VPL. TIR.

ABSTRACT

Energy consumption increases with economic development and, due to concerns about environmental issues, sustainable production is indispensable. The work presents a study on the economic feasibility of deploying two photovoltaic systems connected to the electricity grid, one in the city hall and the other in a public building located in the town of Ingazeira, both in the city of Monte Alegre do Piauí. In this study, data were collected to obtain energy consumption, solar radiation index and energy values charged by local utilities. The photovoltaic system at the City Office comprises a photovoltaic generator composed of 32 photovoltaic modules and an inverter, with a nominal power of 17.12 kWp for the production of 28,749.1 kWh of energy per year. In the Povoado Ingazeira system, there is a photovoltaic generator composed of 82 photovoltaic modules and an inverter, with a total nominal power of 43.87 kWp to produce a total of 73,669.6 kWh of energy per year. The analyzes were performed using indicators of economic feasibility, discounted payback, Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR). The results obtained demonstrate the project as economically viable for implementation, with a payback time of 5 years for both systems, positive NPV for year 25 of R\$ 2,473,885.30 and IRR for year 25 of 32.66 % for the City Hall and NPV for year 25, positive, of R\$ 6,259,350.75 and IRR for year 25 of 33.57%.

KEYWORDS: Photovoltaic system. Economic viability. Discounted payback. NPV. TIR.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Irradiação Global Horizontal – Média Anual.	19
Figura 2 - Símbolo Elétrico Paineis Fotovoltaicos.	22
Figura 3 - Módulo Fotovoltaico Tiger Pro JKM535M-72HL4-BDVP.	33
Figura 4 - Inversor GROWATT.	34
Figura 5 - Local de Implantação das Placas Solares da Sede da Prefeitura.	36
Figura 6 - Local de Implantação das Placas Solares no Povoado Ingazeira.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Bandeiras Tarifárias.	30
Tabela 2 - Consumo Médio Mensal Sede Prefeitura / Ano 2020/2021.....	31
Tabela 3 - Consumo Médio Mensal PV Ingazeira / Ano 2020/2021.	32
Tabela 4 - Característica do Módulo Fotovoltaico.	33
Tabela 5 - Características do Inversor de 15 kW.....	35
Tabela 6 - Características do Inversor de 36 kW.....	35
Tabela 7 - Radiação Solar Horizontal de Monte Alegre do Piauí.	37
Tabela 8 - Radiação Solar e Energia Produzida em cada exposição.	38
Tabela 9 - Perdas de ambos os Sistemas.	38
Tabela 10 - Produção Mensal de Energia – Sede da Prefeitura.....	39
Tabela 11 - Produção Mensal de Energia – Povoado Ingazeira.	40
Tabela 12 - Característica do Sistema Proposto – Sede da Prefeitura.....	40
Tabela 13 - Característica do Sistema Proposto – Prédio Povoado Ingazeira.....	41
Tabela 14 - Dados Gerais de Custo dos Sistemas Fotovoltaicos.....	43
Tabela 15 - Custos Adicionais.....	43
Tabela 16 - Fluxo de Caixa 2022 – 2025 – Sede da Prefeitura.	47
Tabela 17 - Fluxo de Caixa 2026 – 2029 – Sede da Prefeitura.	47
Tabela 18 - Fluxo de Caixa 2030 – 2033 – Sede da Prefeitura.	48
Tabela 19 - Fluxo de Caixa 2034 – 2037 – Sede da Prefeitura.	48
Tabela 20 - Fluxo de Caixa 2038 – 2041 – Sede da Prefeitura.	49
Tabela 21 - Fluxo de Caixa 2042 – 2046 – Sede da Prefeitura.	49
Tabela 22 - Fluxo de Caixa 2022 – 2025 – Povoado Ingazeira.....	50
Tabela 23 - Fluxo de Caixa 2026 – 2029 – Povoado Ingazeira.....	50
Tabela 24 - Fluxo de Caixa 2030 – 2033 – Povoado Ingazeira.....	51
Tabela 25 - Fluxo de Caixa 2034 – 2037 – Povoado Ingazeira.....	51
Tabela 26 - Fluxo de Caixa 2038 – 2041 – Povoado Ingazeira.....	52
Tabela 27 - Fluxo de Caixa 2042 – 2046 – Povoado Ingazeira.....	52
Tabela 28 - VPL Sede da Prefeitura.	55
Tabela 29 - VPL Povoado Ingazeira.....	56
Tabela 30 - TIR Sede da Prefeitura.	58
Tabela 31 - TIR Sede da Prefeitura.	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Produção e Consumo Simultâneo de Energia Produzida – Sede da Prefeitura.	45
Gráfico 2 - Produção e Consumo Simultâneo de Energia Produzida – Prédio Povoado Ingazeira.	45
Gráfico 3 - Receita e Saídas – Sede da Prefeitura.	53
Gráfico 4 - Receita e Saídas – Povoado Ingazeira.....	53
Gráfico 5 - Fluxo de Caixa Acumulado – Sede da Prefeitura.	54
Gráfico 6 - Fluxo de Caixa Acumulado – Povoado Ingazeira.....	54
Gráfico 7 - Valor Presente Líquido (VPL) – Sede da Prefeitura.....	57
Gráfico 8 - Valor Presente Líquido (VPL) – Sede da Prefeitura.....	57
Gráfico 9 - Taxa Interna de Retorno (TIR) – Sede da Prefeitura.	60
Gráfico 10 - Taxa Interna de Retorno (TIR) – Prédio Povoado Ingazeira.	60

LISTA DE ABREVIACES

ABNT	Associa Brasileira de Normas Técnicas
ABSOLAR	Associa Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GD	Gera Distribuída
IEA	International Energy Agency
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
kWh	Quilowatt-hora
kWp	Quilowatt-pico
MW	Megawatt
TE	Tarifa de Energia
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa.....	14
1.2	Objetivo Geral	15
1.3	Objetivo Específico.....	15
1.4	Metodologia	15
1.5	Contribuição do trabalho	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	Considerações iniciais	17
2.2	Radiação solar	18
2.3	Energia Solar e Geração Distribuída	19
2.3.1	Microgeração e Minigeração Distribuídas	20
2.4	Sistema fotovoltaico conectado à rede.....	21
2.4.1	Componentes de um sistema fotovoltaico	21
2.4.1.1	<i>Módulo fotovoltaico.....</i>	21
2.4.1.2	<i>Inversores</i>	22
2.4.1.3	<i>Proteção e Medidores.....</i>	23
2.4.1.4	<i>Cabos e Estruturas de Suporte</i>	23
2.5	Considerações finais.....	23
3	ANÁLISE FINANCEIRA DO INVESTIMENTO	25
3.1	Considerações iniciais	25
3.2	Indicadores de análise de investimento	25
3.2.1	Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	25
3.2.1.1	<i>Valor Presente Líquido (VPL)</i>	26
3.2.2	Taxa Interna de Retorno (TIR)	27
3.2.3	<i>Payback descontado</i>	27
3.3	Considerações finais.....	28
4	ESTUDO DE CASO.....	29
4.1	Considerações iniciais	29
4.2	Levantamento de Dados	30
4.3	Módulo Fotovoltaico	32
4.4	Inversor solar.....	34

4.5	Características do sistema fotovoltaico proposto	35
4.6	<i>Software SOLergo</i>	29
4.7	Considerações finais.....	41
5	VIABILIDADE ECONÔMICA.....	42
5.1	Considerações Iniciais.....	42
5.2	Análise de custo	42
5.3	Produção e consumo de energia do sistema.....	44
5.4	<i>Payback</i> descontado.....	46
5.5	VPL.....	55
5.6	TIR.....	58
5.7	Considerações finais.....	61
6	CONCLUSÕES GERAIS.....	62
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
	ANEXOS	67

1 INTRODUÇÃO

A importância que a energia executa na vida humana é essencial, juntamente com o transporte, telecomunicações, águas e saneamentos, integra a infraestrutura necessária para agregar o ser humano ao modelo de desenvolvimento atual. Em razão disso, o estudo dos temas energéticos é de grande importância para que dê continuidade a um desenvolvimento sustentável (BELICO, 2011).

O setor energético passa por um processo de amplas transformações. Tendo em vista a sua importância nas emissões de gases de efeito estufa, os sistemas energéticos compõem o centro das ações de mitigação do aquecimento global. Essa mudança, denominada de transição energética, é liderada por países desenvolvidos e provém de políticas para o setor de energia, com especial foco na difusão de fontes renováveis destinado a geração de eletricidade (LOSEKANN e BOTELHO, 2019).

A substituição de combustíveis não renováveis para energias renováveis tem avançado bastante, e a energia solar está exercendo um papel essencial na preservação do meio ambiente. O Brasil, por sua vez, detém de um imenso potencial energético quando se trata de energia solar, possuindo níveis de incidência solar superior a países que desenvolvem projetos fotovoltaicos com mais frequência.

De acordo com a *International Energy Agency* (IEA, 2021), as energias renováveis foram a única fonte de energia para a qual a demanda aumentou em 2020, apesar da pandemia, enquanto o consumo de todos os outros combustíveis diminuiu. No mesmo ano, o país entrou para a lista dos dez países que mais instalaram sistemas de energia solar no mundo em 2020, mesmo com todas as dificuldades proveniente da Covid-19 sobre o mercado do setor.

Mesmo com todo o potencial e altos níveis de irradiação solar, o Brasil atualmente possui sua matriz energética predominantemente da geração através de hidrelétricas, meio este que causa grandes impactos ambientais, ocupando e devastando enormes áreas.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), regulamentou no ano de 2012 e atualizou em 2016, a Resolução Normativa de número 482, no qual o consumidor brasileiro consegue gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e até mesmo conceder o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. São as chamadas microgeração e minigeração distribuídas de energia elétrica, inovações que tem potencial de conciliar economia financeira, consciência socioambiental e autossustentabilidade.

O efeito fotovoltaico constitui, fundamentalmente, em converter em eletricidade a energia luminosa que incide sobre células solares. Os módulos captam a luz do sol transformando-a em corrente contínua. A corrente passa por um inversor, no qual é transformada em corrente alternada, no qual pode ser armazenado em baterias (sistema não conectado à rede), ou o excesso de eletricidade produzido pode voltar para a rede (sistema conectado à rede), onde a rede irá fazer o uso da energia, gerando créditos na conta de luz (ABSOLAR, 2021).

O trabalho constitui na elaboração de um estudo para analisar a viabilidade econômica para a implantação de dois sistemas solar fotovoltaico conectado à rede na cidade de Monte Alegre do Piauí, um no Prédio da Sede da Prefeitura e o outro em um prédio público localizado no Povoado Ingazeira, regulamentada pela Resolução Normativa nº 482/2012, com o propósito de examinar os custos para a implantação desse sistema e a quantidade de tempo que o sistema levará para ser pago, através de indicadores como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de retorno (TIR) e *payback* descontado.

1.1 Justificativa

O município de Monte Alegre do Piauí está localizado no extremo sul do estado. A região estar em grande desenvolvimento, assim este trabalho visa o estudo da viabilidade econômica com o intuito da implantação de sistema solar fotovoltaico conectado à rede em dois prédios públicos do município, um na zona urbana, Sede da Prefeitura, e o outro na zona rural, Povoado Ingazeira. O estudo visa mostrar que é possível tornar o município mais sustentável e, ao mesmo tempo, criar alternativas financeiras para o alto custo das tarifas de eletricidade das instalações municipais.

A cidade possui bom índice de irradiação solar, e estar localizado no chamado “cinturão solar”, que consiste em uma região do Brasil que vai do Nordeste ao Pantanal e conta com índices de incidências acima da média ao longo do ano, o que é um ponto positivo para implantação do sistema. Além disso, de acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2020), o Piauí ocupa a primeira posição entre nove estados das regiões Norte, Nordeste e Sudeste, no qual foi considerada a potência instalada, empreendimentos em construção e a construir. Sendo assim, é possível ver que o Estado tem se destacado pela produção desse tipo de energia, sendo mais um ponto positivo para esse estudo.

Além disso, propõem-se apresentar este estudo para as autoridades da cidade a fim de incentivar a implementação em outros prédios públicos do município.

1.2 Objetivo Geral

O presente trabalho possui por objetivo elaborar um estudo da viabilidade econômica para implantação da energia solar fotovoltaica conectada à rede como opção para a redução de custos com energia elétrica em dois prédios públicos no município de Monte Alegre do Piauí.

1.3 Objetivo Específico

Os objetivos específicos do trabalho são:

- ✓ Levantamento bibliográfico dos conceitos relacionados ao Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR);
- ✓ Estudo das regulamentações e normas técnicas relacionados ao SFCR;
- ✓ Analisar as faturas de energia elétrica;
- ✓ Estudar os valores das tarifas de energia elétrica empregados no Estado do Piauí;
- ✓ Dimensionar o sistema mais adequado para cada unidade consumidora;
- ✓ Simular a quantidade de energia o sistema irá gerar;
- ✓ Calcular o tempo médio que o sistema será pago;
- ✓ Analisar a viabilidade econômica para a implantação dos sistemas solar fotovoltaico.

1.4 Metodologia

Na primeira fase foi elaborado uma revisão bibliográfica relacionada aos temas que referem ao sistema solar fotovoltaico. A segunda fase constituiu do estudo do levantamento de carga dos dois prédios públicos da cidade de Monte Alegre do Piauí, com estudo das faturas de

energia, atuais tarifas empregadas no Estado e faturas mensais custeadas pelos prédios em um período de um ano. Na terceira fase foi realizado o dimensionamento do sistema, cálculo da energia a ser gerada e o tempo que o sistema levará para ser pago, e análise da viabilidade do projeto. Finalmente, com base nos dados obtidos do sistema fotovoltaico, o próximo passo foi estudar a análise dos indicadores financeiros em detalhes, e esses dados também foram utilizados no *software SOLergo* para então ser possível estimar se a implantação dos sistemas fotovoltaicos conectado à rede é economicamente viável.

1.5 Contribuição do trabalho

Este estudo irá contribuir para futuros trabalhos em relação a implementação de um sistema solar fotovoltaico em prédios públicos, uma vez que possibilitaria sua replicação para o projeto do sistema. Com o estudo efetuado será possível saber o custo dos dois sistemas e o retorno financeiro sobre os investimentos, sendo um incentivo para a implantação em outros prédios públicos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Considerações iniciais

Em decorrência do grande potencial hidroelétrico existente no país, o Brasil possui sua matriz energética em sua maior parte por esse tipo produção de energia, contudo, mesmo sendo uma fonte renovável, alguns fatores prejudicam a sua utilização, como grande impacto ambiental, custo de implantação, manutenção das linhas de transmissão, perdas devido a distância entre a geração e consumo.

Assim sendo, houve um crescimento da exploração expressivo de outra fonte de energia que utiliza a energia do sol para produção, que é energia produzida pela radiação solar, por meio de células fotovoltaicas, sendo o Brasil detentor de bons índices de radiação. Um ponto positivo é que essa geração é uma fonte renovável, havendo também redução nos gastos com transmissão pelo fato da energia ser gerada e produzida próxima ao consumidor, caracterizado como Geração Distribuída (GD) e, por ser uma forma de produção de energia com redução no impacto ambiental.

Após a implantação da Resolução Normativa nº 482/2012 e sua atualização pela REN nº 687/2015, entre outras atualizações, o cenário de geração por meio dessa fonte tem se transformado devido tais normativas que proporcionaram a opção de conexão do sistema com a rede de energia, além de possibilitar ao consumidor a compensação de energia, com injeção de energia na rede elétrica e compensação posteriormente (ANEEL, 2015).

Com isso, este capítulo abordará o cenário da energia fotovoltaica no Brasil, radiação solar, definições de Geração Distribuída e das Resoluções Normativas que a regulamenta, e por fim, a análise da energia solar fotovoltaica conectada à rede e os componentes que compõem parte do sistema.

2.2 Radiação solar

De acordo com Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB, 2008), o Sol além de ser o responsável pela manutenção da vida no planeta terra, constitui-se também da radiação solar, que é uma abundante fonte energética, emitindo anualmente para a atmosfera terrestre, $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia, existindo um potencial gigantesco de aproveitamento e uso por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia.

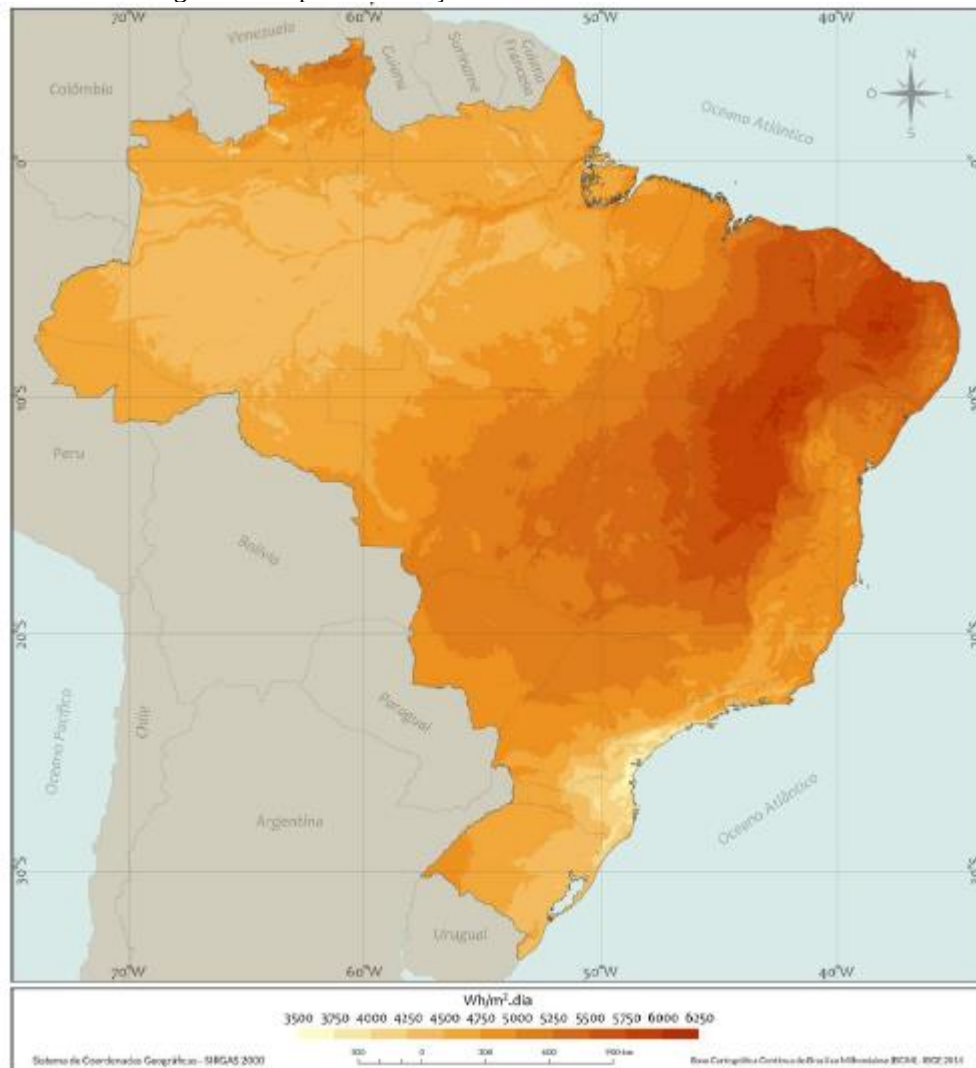
Uma das formas de conversão da energia solar é obtida por meio do efeito fotovoltaico que acontece em dispositivos chamados de células fotovoltaicas. Estas células irão converter diretamente a radiação solar em eletricidade. São basicamente constituídas de materiais semicondutores, tendo como material mais utilizado, o silício (CRESESB, 2008).

Para garantir o melhor rendimento do sistema, saber as coordenadas de inclinação do sol é fundamental. O movimento de translação do planeta Terra em volta do Sol, constitui de uma trajetória elíptica inclinada de aproximadamente $23,5^\circ$ em relação ao plano equatorial. Esta inclinação resulta na elevação do Sol no horizonte, originando as estações do ano. A chamada Declinação Solar (δ), constitui da posição angular do Sol com referência ao plano do Equador (Norte positivo), alternando a angulação, de acordo com o dia do ano, entre os limites de $-23,45^\circ < \delta < 23,45^\circ$ (CRESESB, 2008).

Em decorrência à enorme distância existente entre o Sol e a Terra, tem-se que apenas uma pequena parte da radiação solar emitida, atinge a superfície da Terra, correspondendo a uma fração de energia de 1×10^{18} KWh/ano. Esta luz solar que chega à superfície terrestre, é mesclada por uma fração direta e por uma fração difusa. A radiação direta vem de acordo a direção do Sol, gerando sombras precisas em qualquer objeto. Já a radiação difusa necessita de uma direção específica (GREENPRO, 2004).

Como pode ser observado no mapa representado na figura 2, o Brasil possui valores bem elevados de irradiação solar, com variações diárias entre 4.444 Wh/m^2 à 5.483 Wh/m^2 . A região que detém a maior disponibilidade energética é a Nordeste, devido a sua localização mais próxima à linha do Equador, possuindo uma radiação global média de $5,483 \text{ kWh/m}^2$, destacando-se também pela baixa diferenciação de incidência durante o ano (INPE, 2017).

Figura 1 - Mapa de Irradiação Global Horizontal – Média Anual.



Fonte: INPE, 2017

2.3 Energia Solar e Geração Distribuída

Segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE, 2014), Geração Distribuída consiste na geração elétrica executada perto dos consumidores dissociado da potência, tecnologia e fonte de energia, evoluindo de forma a incluir gradativamente potências menores, abrangendo co-geradores, pequenas centrais hidrelétricas, geradores para operação no horário de ponta, painéis fotovoltaicos e geradores de emergência. As vantagens incluem a economia em investimentos de transmissão e redução das perdas, resultando na melhora da estabilidade do serviço de energia elétrica.

Uma das inúmeras vantagens da GD consiste em impedir as chamadas “perdas técnicas” que ocorrem nas linhas da transmissão e distribuição, resultando na redução dos custos para quem escolhe usar esse modelo. Além disso, a GD também é benéfica por diversificar a matriz energética, possibilita o desenvolvimento da cadeia produtiva nacional, melhora o aproveitamento dos recursos, trazer maior eficiência energética nos empreendimentos e redução nos impactos ambientais. Juntamente com todos esses benefícios, a GD possibilita que a energia seja compensada na tarifa do cliente, sendo um ótimo benefício econômico (FOCUS, 2021).

De acordo com o Art. 1º da Lei Estadual n.º 7.471, de 18 de janeiro de 2021 (BRASIL, 2021), o estado do Piauí detém de incentivos para o financiamento e a aquisição de sistemas fotovoltaicos pelos servidores públicos, militares e pensionistas. Os beneficiados que aderirem um sistema fotovoltaico em suas residências, terão a possibilidade de escolher a forma do financiamento para sua instalação e o pagamento das parcelas mensais será por meio de consignação em folha.

2.3.1 Microgeração e Minigeração Distribuídas

A partir da Resolução Normativa ANEEL nº 482, que entrou em vigor 17 de abril de 2012, foi permitido ao consumidor brasileiro a geração de sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis, conseguindo até fornecer o excesso para a rede de distribuição de sua localidade. No ano de 2015, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 687/2015 realizando uma revisão na Resolução Normativa nº 482/2012 (ANEEL, 2018).

A microgeração distribuída consiste na geração, a partir de qualquer fonte renovável, com potência instalada de até 75 quilowatts (kW) e a minigeração distribuída é aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW, no qual a conexão na rede de distribuição é através de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2015).

O “crédito de energia” acontecerá no caso da energia injetada na rede seja excedente à consumida, que poderá ser usado para abater o consumo da unidade consumidora nos meses posteriores ou em outras unidades (contando que as unidades se encontrem na mesma área de concessão), com um prazo de até 60 meses (ANEEL, 2015)

A ANEEL (2015) determinou um custo para cada grupo consumidor, no qual as unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), deverá pagar um custo de

disponibilidade equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). Os consumidores conectados em alta tensão (grupo A), consistirá na demanda contratada que será faturada normalmente, onde a parcela de energia da fatura poderá ser zerada, se a quantidade de energia injetada for superior ou igual à quantidade de energia consumida.

2.4 Sistema fotovoltaico conectado à rede

O sistema fotovoltaico conectado à rede é constituído por equipamentos que irão converter a energia solar em eletricidade. Essa conversão será feita pelas placas solares que através do chamado efeito fotovoltaico, irá converter a luz do sol em energia elétrica. A produção da energia será feita em corrente contínua (CC), no qual será convertida em corrente alternada (CA) pelo inversor, e então finalmente concedida para o imóvel do cliente (ABSOLAR, 2020).

2.4.1 Componentes de um sistema fotovoltaico

2.4.1.1 Módulo fotovoltaico

O módulo fotovoltaico consiste na unidade básica de todo o sistema. A conexão das células é através de arranjos produzindo tensão e corrente suficientes para a utilização da energia. A partir da tensão de utilização e corrente elétrica desejada, será determinado o arranjo que poderá ser em série e/ ou paralelo (CEPEL-CRESESB, 2004). A simbologia elétrica estar exemplificada na Figura 3.

Figura 2 - Símbolo Elétrico Painel Fotovoltaico.



Fonte: FIGUEIRA, 2014

Para alcançar a eficiência do módulo associando a potência elétrica máxima produzida e a irradiação solar, são efetuados ensaios que determinam a potência de pico (Wp) de um módulo, sob irradiação solar de 1.000 W/m^2 , modo espectral de AM 1,5 e temperatura de célula de 25°C (PINHO; GALDINHO, 2014).

Segundo Tavares e Galdinho (2014), a irradiação solar e a temperatura são dois fatores importantes que irão influenciar diretamente no desempenho das células fotovoltaicas. Conforme a irradiação aumenta, ocorrerá também um aumento na corrente elétrica gerada no módulo e no momento em que existir uma variação de temperatura ocorrerá uma queda de tensão, no qual mesmo possuindo um aumento pequeno na corrente, não ressarce essa redução (PINHO; GALDINHO, 2014).

2.4.1.2 Inversores

O inversor consiste em um componente importante de um sistema fotovoltaico. Os módulos fotovoltaicos geram energia elétrica em corrente contínua, a corrente utilizada nas casas é a corrente alternada, em virtude de menores perdas e facilidade de transmissão. Desse modo, o inversor é o equipamento responsável por fazer essa conversão de corrente contínua para corrente para alternada (RUTHER, 2004).

2.4.1.3 Proteção e Medidores

Para auxiliar na proteção, os fusíveis fotovoltaicos tem o papel de proteger a série fotovoltaica (*string*) do fluxo de corrente reserva de um conjunto série com tensão maior para um com tensão menor. O seu dimensionamento de feito para correntes menores que a corrente reversa suportável pelo módulo. Estes fusíveis devem ser aplicados na saída de cada série no polo positivo e no polo negativo (PINHO; GALDINHO, 2014).

Os medidores possuem a função de medir a quantidade de energia da rede consumida pela instalação elétrica e a quantidade de energia injetada na rede. É possível aderir ao medidor unidirecionais, no qual possuirá uma configuração com dois medidores ou um medidor bidirecional, este por sua vez, irá registrar o que é consumido da rede e a energia injetada nela (PEREIRA; GONÇALVES, 2008).

2.4.1.4 Cabos e Estruturas de Suporte

De acordo com (PINHO; GALDINO, 2014), o dimensionamento correto dos cabos é de extrema importância para um bom funcionamento do sistema. É importante que os cabos possuam um bom material de proteção e isolamento do condutor, sendo resistentes às condições climáticas, principalmente à radiação ultravioleta. O comprimento dos cabos influenciará nas perdas elétricas, no qual, quanto menor os cabos, menor será as perdas. Os suportes são as estruturas que irão posicionar de maneira estável os módulos fotovoltaicos, no qual precisarão assegurar a ventilação apropriada, possibilitando a dissipação do calor produzido pelos raios solares, adaptando-se ao local instalado.

2.5 Considerações finais

Ao estudar os capítulos sobre alguns tópicos relacionados à energia fotovoltaica, é possível entender o cenário atual da geração fotovoltaica no Brasil, as perspectivas de

crescimento e como esse tipo de energia cresce em todas as categorias, abrangendo os mais diversos tipos de consumidores a cada momento.

Além disso, a decisão normativa torna-se um divisor de águas para a GD, que determina a possibilidade de os consumidores compensarem a energia não utilizada, o que pode gerar um crédito de energia que poderá ser utilizado posteriormente em determinado período de tempo.

Portanto, este capítulo termina com o estudo dos sistemas fotovoltaicos, que no âmbito da conexão à rede elétrica é proposto no presente trabalho, e sua viabilidade econômica será analisada posteriormente.

3 ANÁLISE FINANCEIRA DO INVESTIMENTO

3.1 Considerações iniciais

Para a tomada de decisão de um investimento é essencial a análise da viabilidade econômica do projeto, para tal, o uso de ferramentas que auxiliam na junção das mesmas, é designado o “Fluxo de Caixa”. Drumond (2020) define fluxo de caixa um indicar de entradas e transferências financeiras em um determinado período, detalhando a origem de todo o dinheiro e sua aplicação, desenvolvendo como resultado de fluxo financeiro.

A partir dos fluxos de caixa produzidos, é possível obter os valores de indicadores econômicos que iram auxiliar na análise da viabilidade do investimento. Para o estudo deste trabalho, os indicadores financeiros utilizados serão o Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Taxa Mínima de Atratividade (TMA), *Payback* descontado.

3.2 Indicadores de análise de investimento

3.2.1 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

A TMA consiste em uma taxa de remuneração mínima de um projeto para que ele se torne viável do ponto de vista do investidor. A definição dessa taxa é pessoal e, geralmente, reflete a remuneração obtida com um investimento alternativo de perfil de risco semelhante (CASTRO, 2015). Ainda de acordo com Castro (2015), existem alguns critérios que podem ser utilizados para auxiliar na definição dessa taxa, são eles:

- Um projeto de investimento concorrente: a taxa de remuneração obtida em um investimento financeiro para pessoas físicas ao qual esse cliente tenha acesso, como poupança, certificado de depósito bancário (CDB), títulos do tesouro, entre outros. Para empresas, a comparação precisa ser feita através da Taxa Interna de Retorno (TIR) estimada para outros projetos de investimento disponíveis.

- Taxa de inflação: essa taxa pode ser usada como TMA. Assume-se diante disso que, alternativamente ao investimento no sistema fotovoltaico esse consumidor manteria seu dinheiro parado, perdendo valor com a inflação.
- Tolerância ao risco: Quanto maior for o risco de um investimento, maior será a TMA. Logo, um projeto de elevado risco só se mostra viável quando apresenta um potencial de retorno igualmente elevado.

3.2.1.1 Valor Presente Líquido (VPL)

De acordo com (QUINTELLA, 2018), esse método é um dos indicadores mais aplicados para se analisar a viabilidade de projetos de investimento. O VLP representa o valor presente de um fluxo de caixa, com lançamentos positivos e/ou negativos, descontados a uma taxa de juros apropriada. Deste modo, para se obter o VPL é necessário construir o fluxo caixa, demonstrando cada entrada e cada saída em cada período de tempo do projeto. Após a construção do fluxo de caixa, calcula-se o valor presente descontando-se, pelo período de tempo apropriado, a TMA de cada uma dessas entradas e saídas, como observado na equação 1.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - FC_0 \quad (1)$$

No qual:

VLP representa o Valor Presente Líquido

FC_0 é o investimento inicial do projeto

FC_t é o valor presente das entradas de caixa

i é a taxa de custo de capital ou taxa de desconto

n é o período de duração do projeto

Dessa maneira, é possível aplicar os valores adquiridos como critério de decisão para analisar a viabilidade do projeto, em que:

- $VPL > 0$, indica que o projeto é viável economicamente, apresenta ganhos e paga seus custos.
- $VPL < 0$, indica que o projeto é inviável economicamente, não aceito.
- $VPL = 0$, indica que o projeto se paga, sem lucro e sem prejuízo.

3.2.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A taxa interna de retorno (TIR) corresponde a taxa de desconto que, ao ser aplicada ao fluxo de caixa do projeto, obtêm-se um VPL igual a zero. Obter um VPL igual a zero quer dizer que realizar aquele investimento ou não, na perspectiva financeira, não faz diferença. A TIR será comparada ao TMA para análise da viabilidade do projeto. No qual uma TIR maior que a TMA indica a viabilidade do projeto. Já a TIR menor do que a TMA o projeto não é viável (QUINTELLA, 2018). Para calcular a TIR tem-se a equação (2):

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^n} \quad (2)$$

n = período de tempo.

3.2.3 *Payback* descontado

A análise do *payback* descontado consiste em um método que irá evidenciar o tempo necessário para recuperar o investimento inicial. Este método considera o valor do dinheiro no tempo, uma vez que aplica uma taxa de desconto para examinar o número exato de períodos, em que o projeto recupera o valor inicial investido. Geralmente, a taxa mínima de atratividade será utilizada como a taxa de desconto, que é definida pelo próprio investidor como parâmetro para remuneração de seu capital (LEMES; RIGO; CHEROBIM, 2002).

3.3 Considerações finais

Por meio de alguns conceitos e indicadores para estudar a análise de investimento, além de reduzir os riscos do investimento, ficou mais clara o entendimento de como medir a viabilidade de um investimento e o retorno que será obtido. Este capítulo se propôs a explicar como realizar uma análise financeira dos sistemas fotovoltaicos propostos a serem implementado no município de Monte Alegre do Piauí, com base no retorno do investimento com indicadores como *Payback* descontado, VPL e TIR, de forma a cumprir os objetivos de trabalho verificando se o sistema fotovoltaico atende aos requisitos e se é economicamente viável ou não.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Considerações iniciais

A princípio, iniciou-se a análise dos sistemas fotovoltaicos a serem implantado, no qual utilizou o *Software SOLergo*, que determinou as características do sistema, como número de componentes, inversores e o perfil principal de geração de energia. Foram feitos alguns esclarecimentos sobre o *Software SOLergo* utilizado na obra, sobre as suas características e quais as funções que pode proporcionar para a realização de projetos de sistemas fotovoltaicos.

Em seguida, para uma boa análise de investimento mais próxima da realidade é essencial estudar o empreendimento que deseja investir. Sendo assim, um dos objetivos deste capítulo, será analisar as características dos prédios da Sede da Prefeitura e do Povoado Ingazeira, que vão desde o grupo de consumidores que está inserida e conseqüentemente quais são as tarifas as serem consideradas na análise do sistema, além de saber o perfil de consumo de carga mensal em um determinado período de tempo.

4.2 *Software SOLergo*

SOLergo é um *software* fotovoltaico desenvolvido pela Elektro e tem a sua versão em língua portuguesa exclusiva para o mercado brasileiro. O SOLergo foi o primeiro software fotovoltaico em português inteiramente dedicado a realidade normativa e fiscal brasileira, no qual permite realizar o dimensionamento completo de sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição (*grid connected*), *Off-grid (stand alone)* e híbridos, mostrando as características funcionais da análise do clima, à pesquisa de sombra, o tamanho real dos componentes do sistema, e introdução do layout do projeto, lista de materiais, métodos de precificação, até a introdução da análise econômica.

4.3 Levantamento de Dados

De acordo com a RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414, DE 9 DE SETEMBRO DE 2010, existem dois grupos de consumidores ou unidades consumidoras de energia elétrica: A e B. O Grupo A (alta tensão) é formado por unidades consumidoras atendidas em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou com entrega mediante a sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária e o Grupo B (baixa tensão), é definido por unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 2,3 kV (ANEEL, 2010).

Esses dois grupos são divididos em subgrupos conforme a tensão de fornecimento. Os dois prédios da Prefeitura pertencem ao subgrupo B3, conforme a ANEEL (2017) para os consumidores do Grupo B tem-se:

- O consumidor do tipo B1 é o residencial;
- O consumidor rural é chamado de B2;
- O consumidor B3 são os estabelecimentos comerciais ou industriais de pequeno porte;
- O consumidor B4 é a iluminação pública.

A ANEEL, desde 2015, inseriu o Sistema de Bandeiras Tarifárias, com as modalidades: verde, amarela e vermelha, à exceção de consumidores localizados em sistemas isolados, que de acordo com as condições de geração de eletricidade, o valor da energia sofrerá ou não acréscimo na tarifa de energia. A tabela 1 mostra as características de cada modalidade e o valor do acréscimo na tarifa de energia.

Tabela 1 - Bandeiras Tarifárias.

COR BANDEIRA	CONDIÇÕES GERAÇÃO	ACRÉCIMO NA TARIFA R\$/ kWh CONSUMIDO
Verde	Favoráveis	Nenhum
Amarela	Menos Favoráveis	R\$ 1,87
Vermelha	Patamar 1: Mais Custosas	R\$ 3,97
	Patamar 2: Ainda Mais Custosas	R\$ 9,49

Fonte: ANEEL, 2021

De acordo com a determinação da CREG (Câmara de Regras Excepcionais para Gestão Hidroenergética), entre setembro de 2021 à abril de 2022 está acionada a Bandeira Tarifária Escassez Hídrica, com valor de R\$14,20 a cada 100 quilowatt-hora consumidos (ANEEL, 2021).

Por fim, tem-se o perfil de consumo dos 2 prédios da Prefeitura do ano de 2020/2021, utilizado como base para proposta do sistema fotovoltaico. O prédio da sede da prefeitura consiste em um prédio comercial que funciona das 08:00h às 14:00h e o prédio do Povoado Ingazeira funciona um poço artesiano da prefeitura que abastece a região, no qual a bomba é ligada para encher a caixa d'água, após cheia, a bomba é desligada e acionada automaticamente quando a caixa estiver vazia novamente. Com consumos médios mensais de 1909 kWh – Sede Prefeitura e 5506 kWh – PV Ingazeira, estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Consumo Médio Mensal Sede Prefeitura / Ano 2020/2021.

MÊS	CONSUMO (kWh)
Agosto/2021	1353
Julho/2021	1579
Junho/2021	1517
Maio/2021	1884
Abril/2021	1996
Março/2021	1811
Fevereiro/2021	2153
Janeiro/2021	2274
Dezembro/2020	2077
Novembro/2020	2019
Outubro/2020	2455
Setembro/2020	1793
Média	1909

Fonte: Autor, 2021

Tabela 3 - Consumo Médio Mensal PV Ingazeira / Ano 2020/2021.

MÊS	CONSUMO (kWh)
Agosto/2021	7067
Julho/2021	8054
Junho/2021	3788
Maio/2021	2988
Abril/2021	2523
Março/2021	5346
Fevereiro/2021	6073
Janeiro/2021	6307
Dezembro/2020	6892
Novembro/2020	3657
Outubro/2020	6072
Setembro/2021	7313
Média	5506

Fonte: Autor, 2021

4.4 Módulo Fotovoltaico

O módulo fotovoltaico escolhido para ser utilizado em ambos os sistemas foi o modelo Tiger Pro JKM535M-72HL4-BDVP do fabricante JINKO SOLAR, módulos fotovoltaicos de Silício Monocristalino Bifacial, com 20,8% de eficiência, no qual o sistema da Sede da Prefeitura foi utilizado 32 módulos e para o sistema no Povoado Ingazeira foi o utilizado 82 módulos. A Figura 4 mostra o módulo e suas características estão descritas na Tabela 04 e o Datasheet encontra-se no ANEXO 1.

Figura 3 - Módulo Fotovoltaico Tiger Pro JKM535M-72HL4-BDVP.



Fonte: JINKO SOLAR, 2021

Tabela 4 - Característica do Módulo Fotovoltaico.

CARACTERÍSTICAS GERAIS	
Fabricante:	JINKO SOLAR
Modelo:	Tiger Pro JKM535M-72HL4-BDVP
Tecnologia de const.:	Silício Monocristalino Bifacial
CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS	
Potência Máxima:	535 W
Rendimento:	20,80%
Tensão Nominal:	40,9A
Corrente Nominal:	12,97 A
CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS	
Corrente de curto-circuito:	13,8 A
DIMENSÕES	
Dimensões:	1134 mm x 2274 mm

Peso:

34,3 kg

Fonte: JINKO SOLAR, 2021

4.5 Inversor solar

Os inversores selecionados para serem aplicados são do modelo MID KTL3-X MID 15KTL3-X (60Hz) e MAC KTL3-XL MAC 36KTL3-XL (60Hz) do fabricante GROWATT NEW ENERGY, em que foi utilizado 1 inversor de 15 kW no sistema da Sede da Prefeitura e um inversor de 36 kW no sistema do PV Ingazeira, em que possuem valores adequados de tensão e corrente do dispositivo de entrada com os sistemas fotovoltaicos e de saída com os valores da rede a qual serão conectados. Na Figura 5 tem-se o inversor, suas características estão expostas nas Tabelas 5 e 6 e os Datasheets encontra-se no ANEXO 2.

Figura 4 - Inversor GROWATT.



Fonte: GROWATT NEW ENERGY, 2021

Tabela 5 - Características do Inversor de 15 kW.

CARACTERÍSTICAS GERAIS	
Fabricante:	GROWATT.
Modelo:	MID KTL3-X MID 15KTL3-X
CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS	
Potência Nominal:	15000 W
Corrente máxima por rastreador:	25 A
Corrente máxima:	50 A

Fonte: GROWATT NEW ENERGY, 2021

Tabela 6 - Características do Inversor de 36 kW.

CARACTERÍSTICAS GERAIS	
Fabricante:	GROWATT.
Modelo:	MAC KTL3-XL MAC 36KTL3-XL
CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS	
Potência Nominal:	36000 W
Corrente máxima:	156 A
Corrente máxima por rastreador:	52 A

Fonte: GROWATT NEW ENERGY, 2021

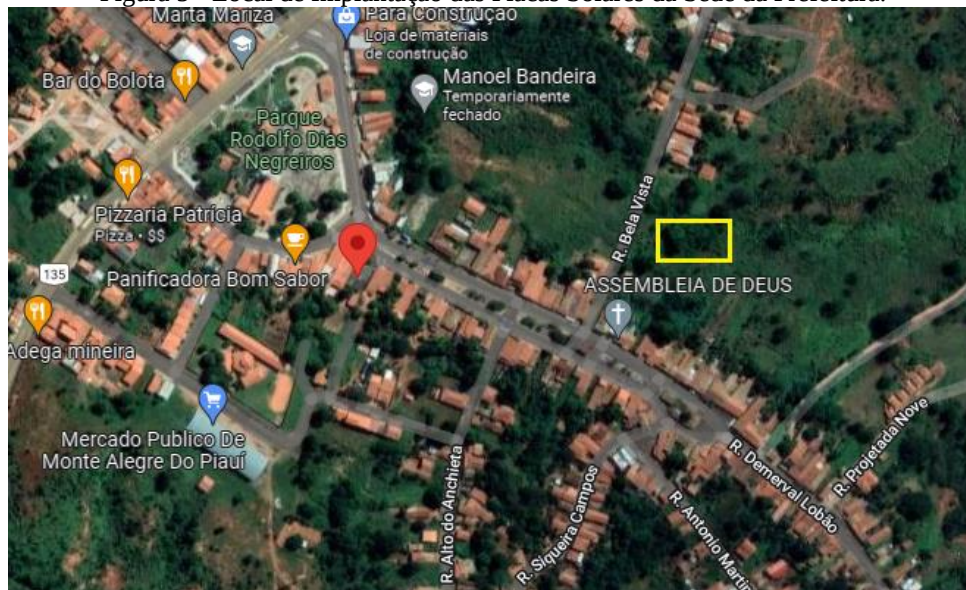
4.6 Características do sistema fotovoltaico proposto

A princípio, para uma placa com potência de 535W, estimou-se um sistema com total de 32 módulos fotovoltaicos para a Sede da Prefeitura e 82 módulos fotovoltaicos para o Prédio do Povoado Ingazeira, que serão distribuídos em terrenos disponíveis da prefeitura, com estrutura no solo, de ambos os sistemas. No primeiro sistema, a partir do tamanho médio dos

módulos fotovoltaicos, serão necessários 82,56 m² de área bruta para os módulos. Já no segundo sistema serão necessários 211,56 m² de área bruta para os módulos.

As Figuras 6 e 7 demonstram parte do mapa da Cidade de Monte Alegre do Piauí, obtido pela ferramenta *Google Maps*, com os locais propostos para a instalação das placas solares, marcado com um tracejado cor amarela.

Figura 5 - Local de Implantação das Placas Solares da Sede da Prefeitura.



Fonte: Adaptado de Google Maps, 2021

Figura 6 - Local de Implantação das Placas Solares no Povoado Ingazeira.



Fonte: Adaptado de Google Maps, 2021

A radiação solar horizontal da cidade de Monte Alegre do Piauí foi adquirida pelo *Software* SOLergo, possuindo como referência os dados históricos e de radiação solar, nas imediações de Monte Alegre do Piauí, no qual se aplica de dados de acordo Atlas Brasileiro de Energia Solar e com o Atlas Solarimétrico do Brasil, conforme com a Tabela 7.

Tabela 7 - Radiação Solar Horizontal de Monte Alegre do Piauí.		
MÊS	TOTAL DIÁRIO [MJ/M ²]	TOTAL MENSAL [MJ/M ²]
Janeiro	20,72	642,32
Fevereiro	20,29	568,12
Março	19,76	612,56
Abril	19,39	581,7
Maio	19,62	608,22
Junho	18,76	562,8
Julho	19,25	596,75
Agosto	21,74	673,94
Setembro	22,79	683,7
Outubro	22,01	682,31
Novembro	20,52	615,6
Dezembro	21,09	653,79

Fonte: SOLergo, 2021

Para o dimensionamento de ambos os sistemas fotovoltaicos foi considerado a exposição 1 dos painéis solares em orientação de 180,00° (azimute) em relação ao sul, afim de aproveitar a irradiação máxima do local, e com uma inclinação horizontal de 10,00° indicada como a inclinação mínima para facilitar o escoamento da água.

O dimensionamento da potência nominal do gerador foi feito mediante as Equações 3 e 4, que considera a potência do módulo fotovoltaico, neste caso 535W, e a quantidade de módulos que serão utilizados, total de 32 e 82.

$$P_{\text{Sede da Prefeitura}} = P_{\text{módulo}} * N^{\circ} \text{ módulos} = 535W * 32 = 17,12 \text{ kW} \quad (3)$$

$$P_{\text{Povoado Ingazeira}} = P_{\text{módulo}} * N^{\circ} \text{ módulos} = 535W * 82 = 43,87 \text{ kW} \quad (4)$$

Desse modo, o projeto refere-se à construção de dois sistemas de produção de eletricidade através da conversão fotovoltaica, com uma potência de pico igual à 17,12 kWp – sede da prefeitura e 43,87 kWp – prédio povoado Ingazeira, no qual é exposto na Tabela 8.

Tabela 8 - Radiação Solar e Energia Produzida em cada exposição.

SEDE DA PREFEITURA			
EXPOSIÇÃO	Nº MÓDULOS	RADIAÇÃO SOLAR [kWh/m²]	ENERGIA [kWh]
Exposição 1	32	2.098,72	35.930,15
POVOADO INGAZEIRA			
EXPOSIÇÃO	Nº MÓDULOS	RADIAÇÃO SOLAR [kWh/m²]	ENERGIA [kWh]
Exposição 1	82	2.098,72	92.071,01

Fonte: SOLergo, 2021

De acordo com a Tabela 8, a partir dos cálculos feitos pelo SOLergo, tem-se o sistema solar da sede da prefeitura com produção média anual de 35.930,15 kWh de energia elétrica, e o sistema do povoado Ingazeira com produção média anual de 92.071,01 kWh. Contudo, é necessário considerar perdas no sistema, como mostra a Tabela 9. Como ambos os sistemas possuem bastante espaços disponíveis, os painéis solares serão instalados de forma que não sofrerem sombreamento.

Tabela 9 - Perdas de ambos os Sistemas.

PERDAS	PORCENTAGEM
Perda por sombreamentos totais:	0,00%
Perda por aumento de temperatura:	8,90%
Perdas por descasamento:	5,00%

Perdas de corrente continua:	1,50%
Outras perdas:	5,00%
Perdas na conversão:	1,20%
Perdas totais:	20,00%

Fonte: SOLergo, 2021

Ao considerar as perdas que os sistemas sofreram, o sistema da Sede da Prefeitura terá produção de energia total de 28.749,1 kWh ao ano, e o sistema do Povoado Ingazeira terá produção de energia total de 73.669,6 kWh, observado com mais detalhe nas Tabelas 10 e 11, que exibem as produções mensais no período de um ano.

Tabela 10 - Produção Mensal de Energia – Sede da Prefeitura.

MÊS	TOTAL DIÁRIO [kWh]	TOTAL MENSAL [kWh]
Janeiro	75,106	2328,277
Fevereiro	75,214	2105,989
Março	75,13	2329,017
Abril	76,161	2284,831
Maio	79,852	2475,425
Junho	77,438	2323,127
Julho	78,662	2438,51
Agosto	86,637	2685,75
Setembro	87,837	2635,105
Outubro	82,01	2542,317
Novembro	74,81	2244,302
Dezembro	76,015	2356,471

Fonte: SOLergo, 2021

Tabela 11 - Produção Mensal de Energia – Povoado Ingazeira.

MÊS	TOTAL DIÁRIO [kWh]	TOTAL MENSAL [kWh]
Janeiro	192,458	5966,211
Fevereiro	192,736	5396,597
Março	192,52	5968,105
Abril	195,163	5854,878
Mai	204,622	6343,276
Junho	198,434	5953,013
Julho	201,57	6248,681
Agosto	222,008	6882,234
Setembro	225,082	6752,457
Outubro	210,151	6514,688
Novembro	191,701	5751,024
Dezembro	194,789	6038,456

Fonte: SOLergo, 2021

Assim sendo, a Tabela 12 e 13, resume as mais relevantes características, gerais e de conexão na rede de distribuição, dos sistemas fotovoltaicos propostos para implantação na cidade de Monte Alegre do Piauí e para análise da viabilidade.

Tabela 12 - Característica do Sistema Proposto – Sede da Prefeitura.

CARACTERÍSTICAS GERAIS	
O sistema entrou em operação como	Nova construção
Data de entrada em serviço	03/01/2022
Potência nominal de entrada	17,12 kWp
Produção anual prevista	28.749,1 kWh
Área bruta ocupada pelo sistema	82,56 m ²
CARACTERÍSTICAS DA CONEXÃO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO	
Sistema elétrico	Baixa Tensão
Tensão nominal	380 V
Conexão com a rede	Trifásico
Distribuidora de energia local	Equatorial - PI

Fonte: SOLergo, 2021

Tabela 13 - Característica do Sistema Proposto – Prédio Povoado Ingazeira.

CARACTERÍSTICAS GERAIS	
O sistema entrou em operação como	Nova construção
Data de entrada em serviço	03/01/2022
Potência nominal de entrada	43,87 kWp
Produção anual prevista	73.669,6 kWh
Área bruta ocupada pelo sistema	211,56 m ²
CARACTERÍSTICAS DA CONEXÃO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO	
Sistema elétrico	Baixa Tensão
Tensão nominal	380 V
Conexão com a rede	Trifásico
Distribuidora de energia local	Equatorial - PI

Fonte: SOLergo, 2021

4.7 Considerações finais

Por meio deste capítulo, foi possível analisar os dados do sistema da Sede da Prefeitura e do Prédio do Povoado Ingazeira, sobre tensão de alimentação, tarifas aplicáveis a esse tipo de consumidor e consumo mensal de energia, e usar esses dados para dimensionamento do sistema a ser implantado.

A partir dos dimensionamentos realizados no *Software* SOLergo, tem-se as características do sistema solar, que compreende a um gerador fotovoltaico composto de 32 módulos fotovoltaicos e um inversores na Sede da Prefeitura e 82 módulos fotovoltaicos e um inversor no Prédio do Povoado Ingazeira, com potências nominais totais de 17,12 kWp e 43,87 kWp, para produzir um total de 28749,1 kWh e 73669,6 kWh de energia respectivamente, modalidade de conexão com a rede de alimentação em Baixa Tensão, trifásica e tensão de fornecimento de 380 V para ambos os sistemas.

5 VIABILIDADE ECONÔMICA

5.1 Considerações Iniciais

O estudo da análise financeira do projeto é muito importante, pois quantifica o retorno potencial que o investimento pode atingir por meio da previsão, para que possa determinar se vale a pena investir com base em dados confiáveis.

O objetivo do capítulo é realizar as análises de viabilidade econômica com a utilização do *Software* SOLergo, divididas em alguns pontos, o primeiro é a análise de custo dos dois sistemas, ao considerar custos totais, custos anuais e despesas ao longo do período de funcionamento estudado, adicionada a análise das produções anuais dos sistemas e consumos simultâneos de energia que se espera gerar.

Em seguida, tem-se a obtenção dos indicadores de análise financeira, os quais foram considerados taxa de juros, taxa de inflação, taxa de reajuste na tarifa e degradação do sistema pelo envelhecimento, para então poder comprovar a viabilidade econômica do investimento.

Posteriormente, indicadores de análise financeira como *Payback*, VPL e TIR, em que foi avaliado as taxas de juros, taxas de inflação, taxas de reajustes tarifários e degradação do envelhecimento dos sistemas, para assim comprovar a viabilidade e custo econômico dos investimentos.

5.2 Análise de custo

Os custos totais de ambos os sistemas englobam, considerando os valores de preço de mercado, os custos dos equipamentos, mão de obra para a implantação dos sistemas, imprevistos e manutenções. A partir de orçamentos realizados no site da Aldo Solar, levando em consideração os reajustes de preços do mercado, o sistema da Sede da Prefeitura possui um custo total de R\$ 115.438,45, com uma potência nominal de 17,12 kWp, dividindo o custo total do sistema pela potência nominal, tem-se a média de R\$ 6.742,90 para cada kWp de potência instalada. Já o sistema do Povoado Ingazeira, possui um custo total R\$ 281.278,21,

com a potência nominal de 43,87 kWp, dividindo o custo total do sistema pela potência nominal, tem-se a média de R\$ 6.411,63 para cada kWp de potência instalada, como mostra a Tabela 14.

Tabela 14 - Dados Gerais de Custo dos Sistemas Fotovoltaicos.

SEDE DA PREFEITURA	
Potência Nominal:	17,12 kWp
Custo específico:	R\$/kWp 6.742,90
Custo total do sistema:	R\$ 115.438,45
POVOADO INGAZEIRA	
Potência Nominal:	43,87 kWp
Custo específico:	R\$/kWp 6.411,63
Custo total do sistema:	R\$ 281.278,21

Fonte: SOLergo, 2021

A este custo total soma-se o custo anual, que equivale à manutenção e limpeza, sendo responsável por 0,5% na sede da prefeitura e 0,4% povoado Ingazeira, do custo total, bem como os custos especiais com manutenção dos inversores e dos cabos. As porcentagens para manutenção e limpeza foram estimadas de acordo com o valor do mercado atual e a quantidade de módulos fotovoltaicos. Para inversores, estes custos são considerados consistentes na garantia média dos fornecedores e previsão de reposição durante a vida útil do sistema, exposto na Tabela 15.

Tabela 15 - Custos Adicionais.

SEDE DA PREFEITURA		
CUSTOS ANUAIS		
Descrição	%	Valor R\$
Manutenção e limpeza	0,5	577,19
CUSTOS EXTRAORDINÁRIOS		

Descrição	Ano	Valor R\$
Manutenção Inversores	10	15.000,00
POVOADO INGAZEIRA		
CUSTOS ANUAIS		
Descrição	%	Valor R\$
Manutenção e limpeza	0,4	1.125,11
CUSTOS EXTRAORDINÁRIOS		
Descrição	Ano	Valor R\$
Manutenção Inversores	10	30.000,00

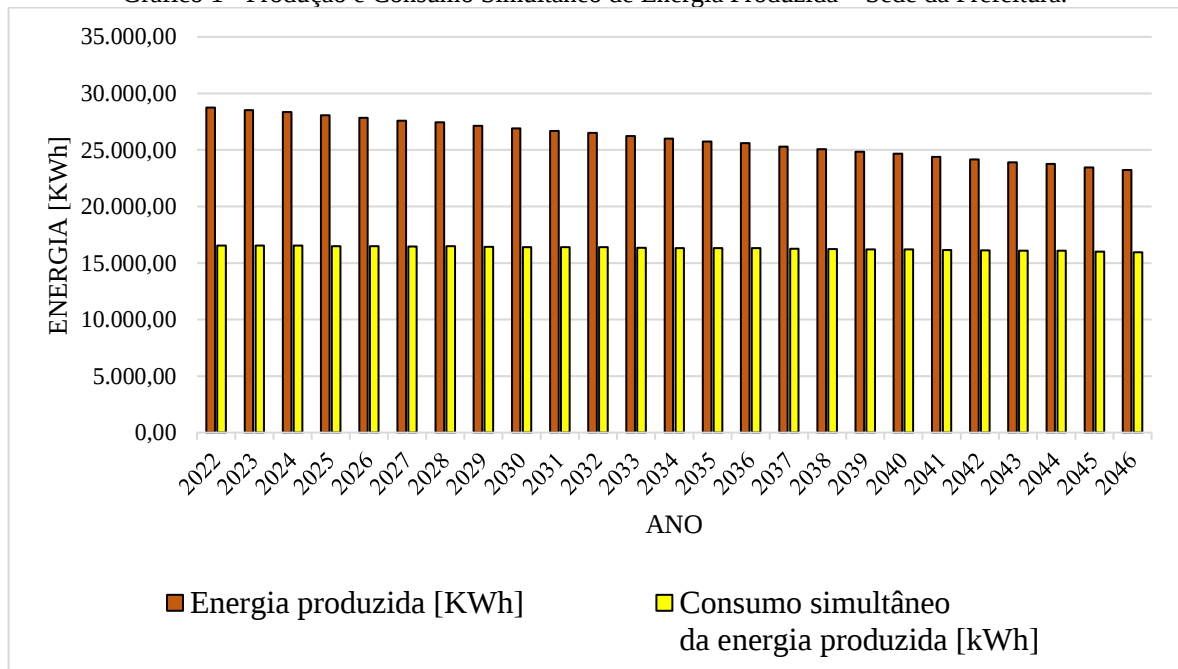
Fonte: SOLergo, 2021

5.3 Produção e consumo de energia do sistema

Os Gráfico 1 e 2 mostram o desempenho, ao decorrer de 25 anos de análise, da produção de energia dos sistemas e a quantidade de energia consumida simultaneamente. Assim, tem-se que mais da metade de toda energia produzida pelo sistema da Sede da Prefeitura será consumida simultaneamente, com uma média injeção na rede de energia. Já no sistema do Povoado Ingazeira terá uma injeção maior na rede, gerando créditos ou podendo realizar a compensação em outros prédios públicos do município.

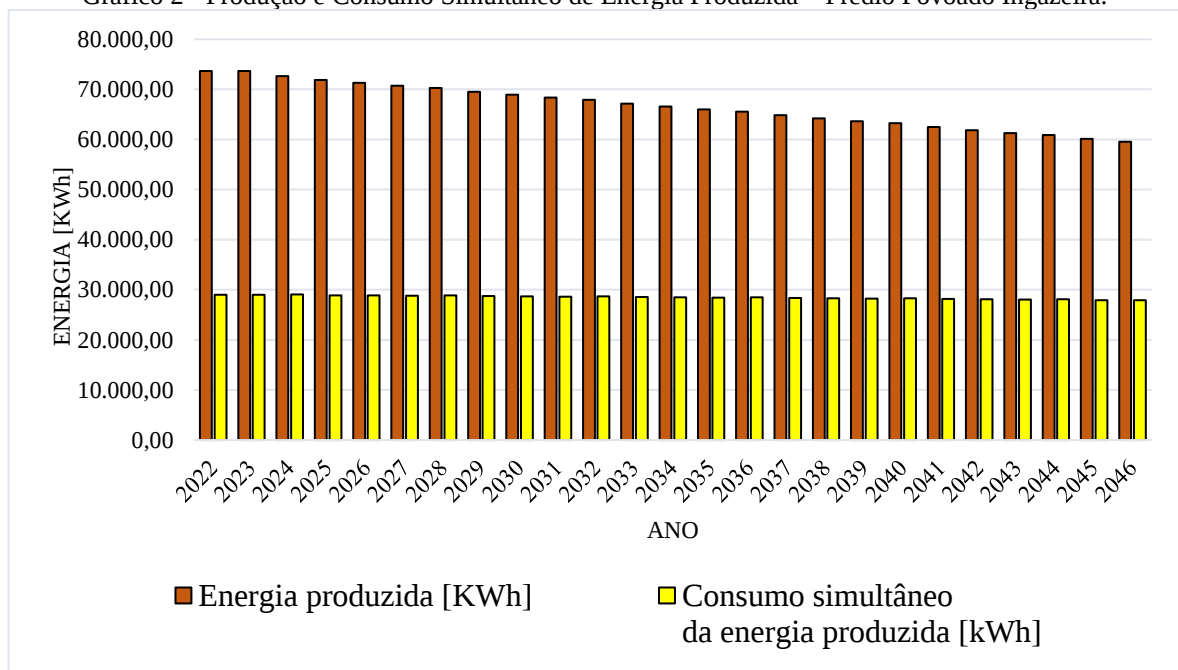
O sistema da sede da Prefeitura foi projetado com potência 21,42% à mais que o consumo e o povoado Ingazeira com potência 7,9% à mais que o consumo, pois a análise foi realizada nos anos 2020/2021 – Tabelas 2 e 3, no qual ainda se tinha o impacto da pandemia em relação ao trabalho remoto e presencial.

Gráfico 1 - Produção e Consumo Simultâneo de Energia Produzida – Sede da Prefeitura.



Fonte: Autor, 2021

Gráfico 2 - Produção e Consumo Simultâneo de Energia Produzida – Prédio Povoado Ingazeira.



Fonte: Autor, 2021

5.4 *Payback* descontado

O *payback* dos dois sistemas será analisado a partir da projeção dos fluxos de caixa ao longo dos 25 anos estudados, em que serão expostos, para cada ano, a economia dos sistemas, que representam as receitas, as despesas e custos, o quais são as saídas, desde modo tem-se o valor dos fluxos de caixa mediante da diferença entre as receitas e as saídas de cada ano.

A partir dos fluxos de caixa acumulado o valor do *payback* será adquirido, levando em o valor do capital próprio investido, sendo a diferença entre soma dos fluxos de caixa anual e o valor do capital próprio inicial. Assim sendo, o *payback* refere-se do número de períodos, em anos, para que os fluxos de caixa acumulado se tornem positivos, e consequentemente, atingir o retorno dos investimentos.

Em decorrência a taxa de reajuste da tarifa de energia, com média dos últimos 10 anos de 8,4%, que consiste na mudança anual percentual utilizada na tarifa de consumo de energia. Também são considerados uma porcentagem de decaimento na produção anual dos sistemas, devido ao envelhecimento, de 0,8%.

Do mesmo modo foram utilizadas, a taxa média de inflação anual, dos últimos 20 anos, de 6,2%, aplicadas aos custos anuais, para o primeiro ano 2022. Além disso, aplicou-se de uma taxa de juros ativo de 8,6%, média dos últimos 10 anos do mercado, que compreende aos juros que é produzido ao longo do ano e irá ser somado às receitas anuais.

As tabelas 16 a 27 mostram ao longo dos 25 anos de análise, a receita dos sistemas, para cada ano, que corresponde a economia dos sistemas devido ao consumo simultâneo de energia e a economia da energia que é injetada na rede elétrica, e as saídas, que compreendem os custos anuais e despesas extraordinárias. Deste modo, tem-se o valor dos fluxos de caixa e fluxo de caixa acumulado, bem como o valor do capital próprio investido e do montante gerado a cada ano.

O valor investido corresponde ao custo total dos sistemas de R\$ 115.438,45 – Sede da Prefeitura e R\$ 281.278,21 – Povoado Ingazeira. E, o montante demonstrado nas tabelas, corresponde a economia dos sistemas, atingido por meio da soma dos fluxos de caixa anuais.

Para uma melhor visualização e leitura, os dados obtidos através das simulações do SOLergo são apresentados em tabelas separadas a seguir.

Tabela 16 - Fluxo de Caixa 2022 – 2025 – Sede da Prefeitura.

ANO	2022	2023	2024	2025
RECEITA [R\$]	21.751,01	25.392,46	29.559,83	34.121,09
Economia cons. simultâneo [R\$]	16.883,92	18.285,04	19.852,06	21.445,66
Economia para a compensação [R\$]	4.867,09	5.290,54	5.764,37	6.250,91
Juros ativos [R\$]	0	1.816,88	3.943,40	6.424,52
SAÍDAS [R\$]	599,86	636,77	675,94	717,51
Custos anuais [R\$]	22,67	23,97	25,33	26,75
FLUXO DE CAIXA [R\$]	21.151,15	24.755,69	28.883,89	33.403,58
FLUXO DE CAIXA ACUMULADO [R\$]	-94.287,30	-69.531,61	-40.647,72	-7.244,14
Capital próprio [R\$]	115.438,45	115.438,45	115.438,45	115.438,45
Montante (economia) [R\$]	21.151,15	45.906,84	74.790,73	108.194,31

Fonte: Adaptado de SOLergo, 2021

Tabela 17 - Fluxo de Caixa 2026 – 2029 – Sede da Prefeitura.

ANO	2026	2027	2028	2029
RECEITA [R\$]	39.314,02	45.143,93	51.768,04	59.011,50
Economia cons. simultâneo [R\$]	23.225,28	25.152,17	27.304,92	29.493,62
Economia para a compensação [R\$]	6.794,85	7.386,22	8.049,16	8.730,75
Juros ativos [R\$]	9.293,89	12.605,54	16.413,96	20.787,13
SAÍDAS [R\$]	761,61	808,43	858,04	910,65
Custos anuais [R\$]	733,37	778,62	826,67	877,67
FLUXO DE CAIXA [R\$]	38.552,41	44.335,50	50.910,00	58.100,85
FLUXO DE CAIXA ACUMULADO [R\$]	31.308,27	75.643,77	126.553,77	184.654,62
Capital próprio [R\$]	115.438,45	115.438,45	115.438,45	115.438,45
Montante (economia) [R\$]	146.746,72	191.082,22	241.992,22	300.093,07

Fonte: Adaptado de SOLergo, 2021

Tabela 18 - Fluxo de Caixa 2030 – 2033 – Sede da Prefeitura.

ANO	2030	2031	2032	2033
RECEITA [R\$]	67.207,88	76.372,08	85.441,29	96.646,87
Economia cons. simultâneo [R\$]	31.937,68	34.581,91	37.538,35	40.540,69
Economia para a compensação [R\$]	9.492,21	10.322,04	11.251,06	12.208,42
Juros ativos [R\$]	25.777,99	31.468,13	36.651,88	43.897,76
SAÍDAS [R\$]	966,49	16.025,78	1.088,78	1.156,10
Custos anuais [R\$]	931,82	989,32	1.050,36	1.115,16
FLUXO DE CAIXA [R\$]	66.241,39	60.346,30	84.352,51	95.490,77
FLUXO DE CAIXA ACUMULADO [R\$]	250.896,01	311.242,31	395.594,82	491.085,59
Capital próprio [R\$]	115.438,45	115.438,45	115.438,45	115.438,45
Montante (economia) [R\$]	366.334,46	426.680,76	511.033,27	606.524,04

Fonte: Adaptado de SOLergo, 2021

Tabela 19 - Fluxo de Caixa 2034 – 2037 – Sede da Prefeitura.

ANO	2034	2035	2036	2037
RECEITA [R\$]	109.270,92	123.343,91	139.186,11	156.484,07
Economia cons. simultâneo [R\$]	43.891,91	47.520,07	51.572,84	55.685,49
Economia para a compensação [R\$]	13.278,59	14.442,50	15.748,65	17.096,76
Juros ativos [R\$]	52.100,42	61.381,34	71.864,62	83.701,82
SAÍDAS [R\$]	1.227,56	1.303,43	1.384,00	1.469,52
Custos anuais [R\$]	1.183,97	1.257,02	1.334,58	1.416,92
FLUXO DE CAIXA [R\$]	108.043,36	122.040,48	137.802,11	155.014,55
FLUXO DE CAIXA ACUMULADO [R\$]	599.128,95	721.169,43	858.971,54	1.013.986,09
Capital próprio [R\$]	115.438,45	115.438,45	115.438,45	115.438,45
Montante (economia) [R\$]	714.567,40	836.607,88	974.409,99	1.129.424,54

Fonte: Adaptado de SOLergo, 2021

Tabela 20 - Fluxo de Caixa 2038 – 2041 – Sede da Prefeitura.

ANO	2038	2039	2040	2041
RECEITA [R\$]	175.897,36	197.479,72	221.689,74	248.109,70
Economia cons. Simultâneo [R\$]	60.274,65	65.236,70	70.781,95	76.403,44
Economia para a compensação [R\$]	18.605,14	20.249,90	22.093,47	23.999,88
Juros ativos [R\$]	97.017,57	111.993,12	128.814,32	147.706,38
SAÍDAS [R\$]	1.560,31	1.656,66	1.758,96	1.867,52
Custos anuais [R\$]	1.504,35	1.597,16	1.695,71	1.800,33
FLUXO DE CAIXA [R\$]	174.337,05	195.823,06	219.930,78	246.242,18
FLUXO DE CAIXA ACUMULADO [R\$]	1.188.323,14	1.384.146,20	1.604.076,98	1.850.319,16
Capital próprio [R\$]	115.438,45	115.438,45	115.438,45	115.438,45
Montante (economia) [R\$]	1.303.761,59	1.499.584,65	1.719.515,43	1.965.757,61

Fonte: Adaptado de SOLergo, 2021

Tabela 21 - Fluxo de Caixa 2042 – 2046 – Sede da Prefeitura.

ANO	2042	2043	2044	2045	2046
RECEITA [R\$]	277.663,22	310.446,97	347.109,91	387.096,17	431.712,74
Economia cons. Simultâneo [R\$]	82.657,58	89.417,75	96.959,98	104.578,21	113.075,05
Economia para a compensação [R\$]	26.147,06	28.489,69	31.123,84	33.867,11	36.939,11
Juros ativos [R\$]	168.858,58	192.539,53	219.026,09	248.650,85	281.698,58
SAÍDAS [R\$]	1.982,80	2.105,15	2.234,98	2.372,81	2.519,10
Custos anuais [R\$]	1.911,42	2.029,35	2.154,56	2.287,50	2.428,64
FLUXO DE CAIXA [R\$]	275.680,42	308.341,82	344.874,93	384.723,36	429.193,64
FLUXO DE CAIXA ACUMULADO [R\$]	2.125.999,58	2.434.341,40	2.779.216,33	3.163.939,69	3.593.133,33
Capital próprio [R\$]	115.438,45	115.438,45	115.438,45	115.438,45	115.438,45
Montante (economia) [R\$]	2.241.438,03	2.549.779,85	2.894.654,78	3.279.378,14	3.708.571,78

Fonte: Adaptado de SOLergo, 2021

Tabela 22 - Fluxo de Caixa 2022 – 2025 – Povoado Ingazeira.

ANO	2022	2023	2024	2025
RECEITA [R\$]	52.678,27	52.678,27	52.678,27	52.678,27
Economia cons. simultâneo [R\$]	28.308,14	30.649,21	33.317,18	35.923,51
Economia para a compensação [R\$]	24.370,13	29.430,92	32.086,44	34.662,25
Juros ativos [R\$]	0	4.428,42	9.867,09	16.223,90
SAÍDAS [R\$]	1.125,11	1.194,53	1.268,23	1.346,48
Custos anuais [R\$]	1.125,11	1.194,53	1.268,23	1.346,48
FLUXO DE CAIXA [R\$]	51.553,16	63.314,02	74.002,48	85.463,18
FLUXO DE CAIXA ACUMULADO [R\$]	-229.725,05	-166.411,03	-92.408,55	-6.945,37
Capital próprio [R\$]	281.278,21	281.278,21	281.278,21	281.278,21
Montante (economia) [R\$]	51.553,16	114.867,18	188.869,66	274.332,84

Fonte: Adaptado de SOLergo, 2021

Tabela 23 - Fluxo de Caixa 2026 – 2029 – Povoado Ingazeira.

ANO	2026	2027	2028	2029
RECEITA [R\$]	71.312,10	70.722,80	70.316,80	69.544,20
Economia cons. simultâneo [R\$]	38.887,66	42.094,52	45.751,17	49.323,17
Economia para a compensação [R\$]	37.621,43	40.833,97	44.521,37	48.101,16
Juros ativos [R\$]	23.565,19	32.038,77	41.784,08	52.989,33
SAÍDAS [R\$]	1.429,56	1.517,76	1.611,41	1.710,83
Custos anuais [R\$]	1.429,56	1.517,76	1.611,41	1.710,83
FLUXO DE CAIXA [R\$]	98.644,72	113.449,50	130.445,21	148.702,83
FLUXO DE CAIXA ACUMULADO [R\$]	91.699,35	205.148,85	335.594,06	484.296,89
Capital próprio [R\$]	281.278,21	281.278,21	281.278,21	281.278,21
Montante (economia) [R\$]	372.977,56	486.427,06	616.872,27	765.575,10

Fonte: Adaptado de SOLergo, 2021

Tabela 24 - Fluxo de Caixa 2030 – 2033 – Povoado Ingazeira.

ANO	2030	2031	2032	2033
RECEITA [R\$]	171.360,13	194.783,97	218.910,53	247.408,90
Economia cons. simultâneo [R\$]	53.390,26	57.792,60	62.805,39	67.698,27
Economia para a compensação [R\$]	52.206,97	56.664,66	61.789,14	66.766,09
Juros ativos [R\$]	65.762,90	80.326,71	94.316,00	112.944,54
SAÍDAS [R\$]	1.816,39	31.928,46	2.047,45	2.173,78
Custos anuais [R\$]	1.816,39	1.928,46	2.047,45	2.173,78
FLUXO DE CAIXA [R\$]	169.543,74	162.855,51	216.863,08	245.235,12
FLUXO DE CAIXA ACUMULADO [R\$]	653.840,63	816.696,14	1.033.559,22	1.278.794,34
Capital próprio [R\$]	281.278,21	281.278,21	281.278,21	281.278,21
Montante (economia) [R\$]	935.118,84	1.097.974,35	1.314.837,43	1.560.072,55

Fonte: Adaptado de SOLergo, 2021

Tabela 25 - Fluxo de Caixa 2034 – 2037 – Povoado Ingazeira.

ANO	2034	2035	2036	2037
RECEITA [R\$]	279.751,09	315.805,99	356.711,99	400.751,15
Economia cons. simultâneo [R\$]	73.269,07	79.298,04	86.172,28	92.884,30
Economia para a compensação [R\$]	72.471,79	78.665,35	85.779,85	92.688,90
Juros ativos [R\$]	134.010,23	157.842,60	184.759,86	215.177,95
SAÍDAS [R\$]	2.307,90	2.450,30	2.601,48	2.761,99
Custos anuais [R\$]	2.307,90	2.450,30	2.601,48	2.761,99
FLUXO DE CAIXA [R\$]	277.443,19	313.355,69	354.110,51	397.989,16
FLUXO DE CAIXA ACUMULADO [R\$]	1.556.237,53	1.869.593,22	2.223.703,73	2.621.692,89
Capital próprio [R\$]	281.278,21	281.278,21	281.278,21	281.278,21
Montante (economia) [R\$]	1.837.515,74	2.150.871,43	2.504.981,94	2.902.971,10

Fonte: Adaptado de SOLergo, 2021

Tabela 26 - Fluxo de Caixa 2038 – 2041 – Povoado Ingazeira.

ANO	2038	2039	2040	2041
RECEITA [R\$]	448.155,83	500.068,71	559.366,92	623.651,78
Economia cons. simultâneo [R\$]	100.526,45	108.797,10	118.227,50	127.429,45
Economia para a compensação [R\$]	98.264,16	103.661,70	110.841,04	118.158,27
Juros ativos [R\$]	249.365,22	287.609,91	330.298,38	378.064,06
SAÍDAS [R\$]	2.932,41	3.113,34	3.305,43	3.509,37
Custos anuais [R\$]	2.932,41	3.113,34	3.305,43	3.509,37
FLUXO DE CAIXA [R\$]	445.223,42	496.955,37	556.061,49	620.142,41
FLUXO DE CAIXA ACUMULADO [R\$]	3.066.916,31	3.563.871,68	4.119.933,17	4.740.075,58
Capital próprio [R\$]	281.278,21	281.278,21	281.278,21	281.278,21
Montante (economia) [R\$]	3.348.194,52	3.845.149,89	4.401.211,38	5.021.353,79

Fonte: Adaptado de SOLergo, 2021

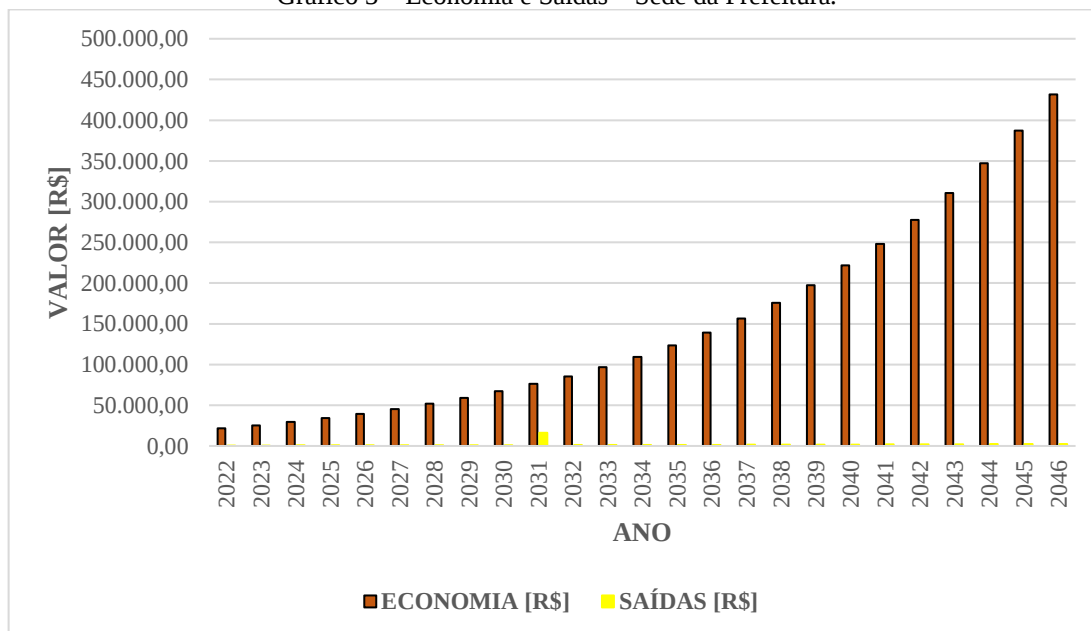
Tabela 27 - Fluxo de Caixa 2042 – 2046 – Povoado Ingazeira.

ANO	2042	2043	2044	2045	2046
RECEITA [R\$]	695.346,08	774.542,02	862.827,96	958.040,14	1.062.404,61
Economia cons. Simultâneo [R\$]	137.896,76	149.223,47	162.124,36	174.709,93	189.036,46
Economia para a compensação [R\$]	126.115,03	134.574,09	143.765,78	152.636,24	160.761,55
Juros ativos [R\$]	431.334,29	490.744,46	556.937,82	630.693,97	712.606,60
SAÍDAS [R\$]	3.725,90	3.955,79	4.199,86	4.458,99	4.734,11
Custos anuais [R\$]	3.725,90	3.955,79	4.199,86	4.458,99	4.734,11
FLUXO DE CAIXA [R\$]	691.620,18	770.586,23	858.628,10	953.581,15	1.057.670,5
FLUXO DE CAIXA ACUMULADO [R\$]	5.431.695,76	6.202.281,99	7.060.910,0	8.014.491,2	9.072.161,7
Capital próprio [R\$]	281.278,21	281.278,21	281.278,21	281.278,21	281.278,21
Montante (economia) [R\$]	5.712.973,97	6.483.560,20	7.342.188,30	8.295.769,4	9.353.439,9

Fonte: Adaptado de SOLergo, 2021

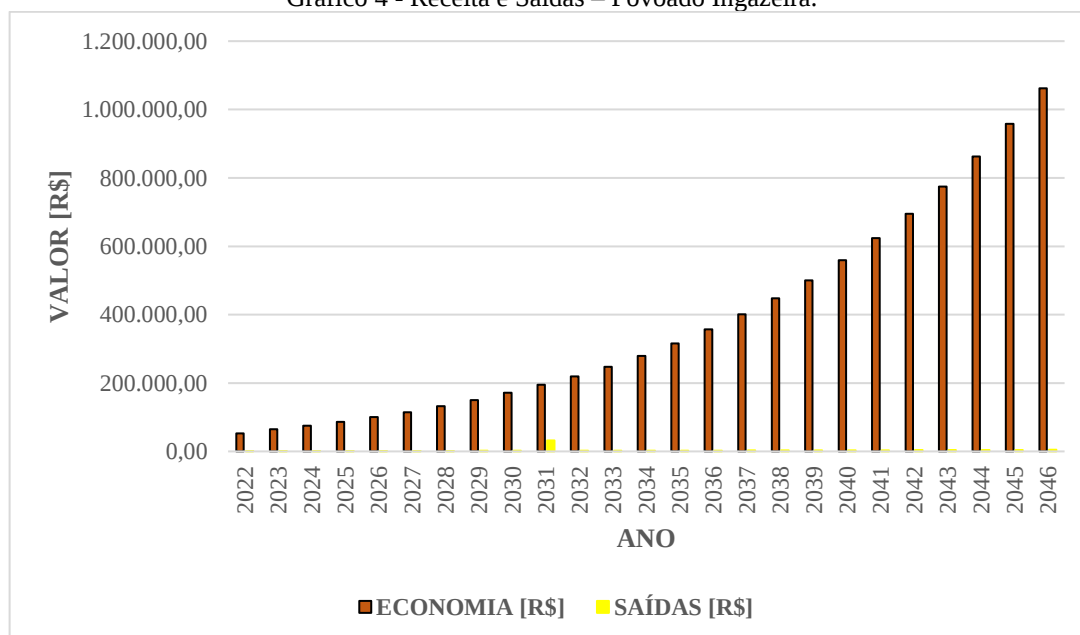
Os Gráfico 3 e 4 demonstram a economia obtida com a implementação dos sistemas, que se refere as entradas, e as saídas, que são os custos dos sistemas ao longo de 25 anos de ambos os sistemas.

Gráfico 3 – Economia e Saídas – Sede da Prefeitura.



Fonte: Autor, 2021

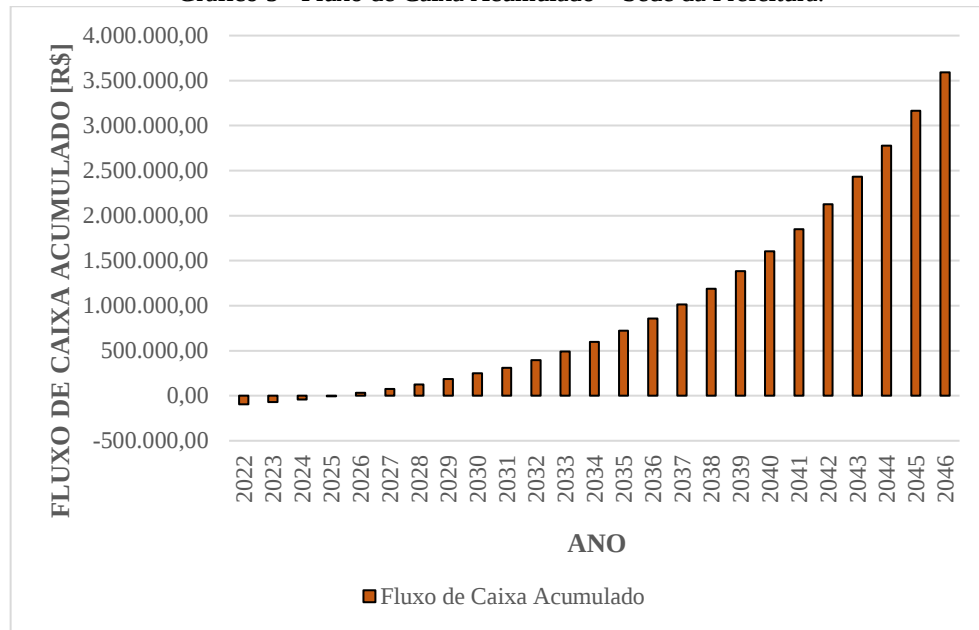
Gráfico 4 - Receita e Saídas – Povoado Ingazeira.



Fonte: Autor, 2021

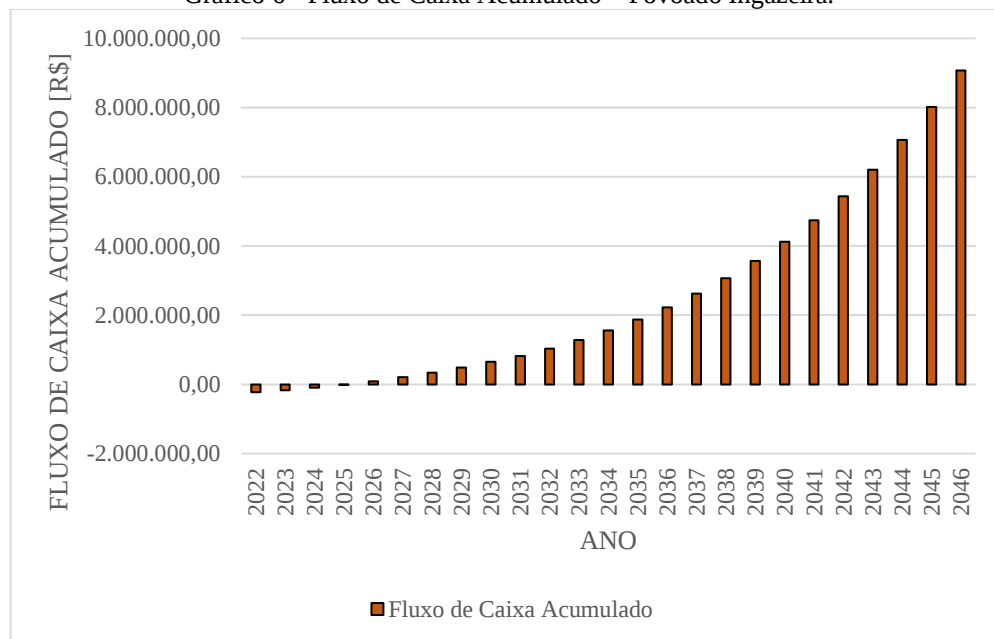
Os Gráficos 5 e 6, são demonstrados os dados do fluxo de caixa acumulado das tabelas acima, sendo possível analisar melhor as projeções desses fluxos, que obtém valores positivos no ano de 2026, logo, o *payback* descontado é de 5 anos.

Gráfico 5 - Fluxo de Caixa Acumulado – Sede da Prefeitura.



Fonte: Autor, 2021

Gráfico 6 - Fluxo de Caixa Acumulado – Povoado Ingazeira.



Fonte: Autor, 2021

5.5 VPL

A partir da avaliação dos fluxos de caixa, o valor do capital próprio investido e a taxa de desconto, é possível adquirir os valores do VPL, do sistema, no qual o valor da taxa de desconto aplicada foi de 2% em ambos os sistemas, por ser considerado um projeto de médio porte, a partir da análise do mercado atual.

Tabela 28 - VPL Sede da Prefeitura.

ANO	FLUXO DE CAIXA [R\$]	TAXA DE DESCONTO [%]	CAPITAL PRÓPRIO [R\$]	VPL [R\$]
2022	21.151,15	2	115.438,45	-94.702,03
2023	24.755,69	2	115.438,45	-70.907,63
2024	28.883,89	2	115.438,45	-43.689,70
2025	33.403,58	2	115.438,45	-12.829,95
2026	38.552,41	2	115.438,45	22.088,15
2027	44.335,50	2	115.438,45	61.456,81
2028	50.910,00	2	115.438,45	105.777,03
2029	58.100,85	2	115.438,45	155.365,54
2030	66.241,39	2	115.438,45	210.793,37
2031	60.346,30	2	115.438,45	260.298,36
2032	84.352,51	2	115.438,45	328.139,97
2033	95.490,77	2	115.438,45	403.433,79
2034	108.043,36	2	115.438,45	486.954,82
2035	122.040,48	2	115.438,45	579.446,25
2036	137.802,11	2	115.438,45	681.835,25
2037	155.014,55	2	115.438,45	794.754,95
2038	174.337,05	2	115.438,45	919.259,94
2039	195.823,06	2	115.438,45	1.056.367,29
2040	219.930,78	2	115.438,45	1.207.334,54
2041	246.242,18	2	115.438,45	1.373.048,47
2042	275.680,42	2	115.438,45	1.554.935,75
2043	308.341,82	2	115.438,45	1.754.383,27

2044	344.874,93	2	115.438,45	1.973.087,75
2045	384.723,36	2	115.438,45	2.212.278,53
2046	429.193,64	2	115.438,45	2.473.885,30

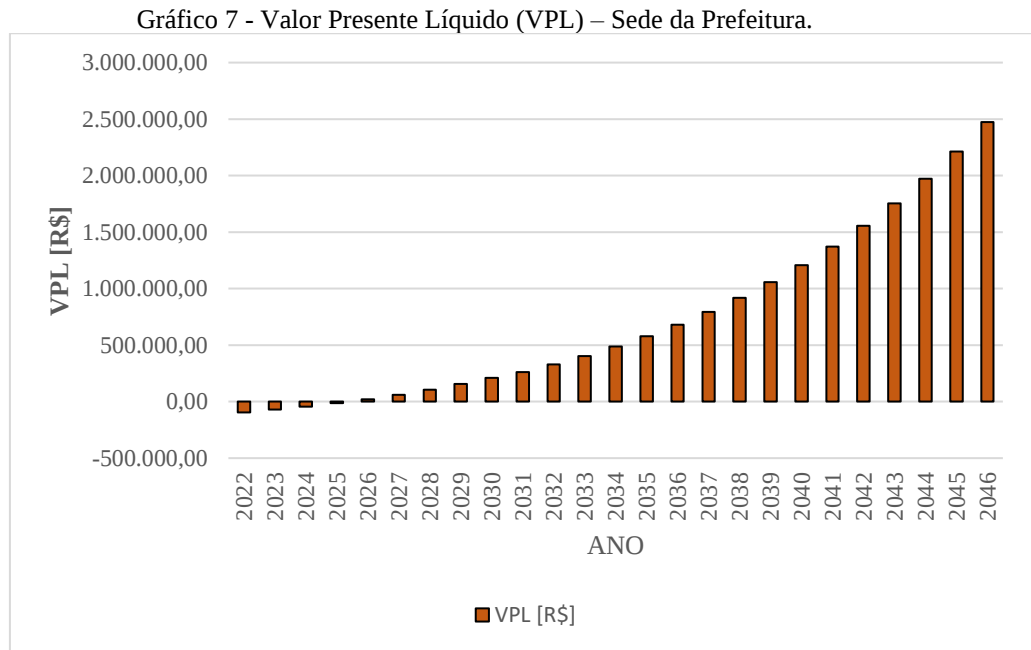
Fonte: Adaptado de SOLergo, 2021

Tabela 29 - VPL Povoado Ingazeira.

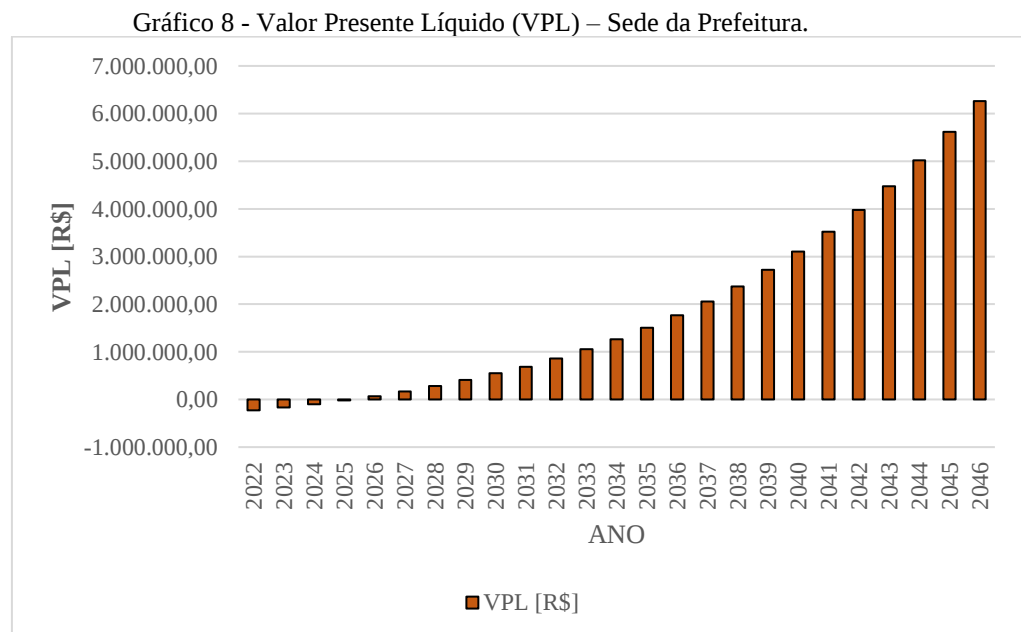
ANO	FLUXO DE CAIXA [R\$]	TAXA DE DESCONTO [%]	CAPITAL PRÓPRIO [R\$]	VPL [R\$]
2022	51.553,16	2	281.278,21	-230.735,90
2023	63.314,02	2	281.278,21	-169.880,44
2024	74.002,48	2	281.278,21	-100.146,25
2025	85.463,18	2	281.278,21	-21.191,48
2026	98.644,72	2	281.278,21	68.154,08
2027	113.449,50	2	281.278,21	168.893,99
2028	130.445,21	2	281.278,21	282.454,40
2029	148.702,83	2	281.278,21	409.370,83
2030	169.543,74	2	281.278,21	551.237,45
2031	162.855,51	2	281.278,21	684.835,69
2032	216.863,08	2	281.278,21	859.250,65
2033	245.235,12	2	281.278,21	1.052.616,87
2034	277.443,19	2	281.278,21	1.267.089,48
2035	313.355,69	2	281.278,21	1.504.573,93
2036	354.110,51	2	281.278,21	1.767.683,25
2037	397.989,16	2	281.278,21	2.057.596,79
2038	445.223,42	2	281.278,21	2.375.558,69
2039	496.955,37	2	281.278,21	2.723.506,65
2040	556.061,49	2	281.278,21	3.105.204,36
2041	620.142,41	2	281.278,21	3.522.542,43
2042	691.620,18	2	281.278,21	3.978.856,70
2043	770.586,23	2	281.278,21	4.477.301,95
2044	858.628,10	2	281.278,21	5.021.806,04
2045	953.581,15	2	281.278,21	5.614.667,93
2046	1.057.670,50	2	281.278,21	6.259.350,75

Fonte: Adaptado de SOLergo, 2021

Para uma melhor visualização dos resultados obtidos do VPL, tem-se a demonstração nos Gráficos 7 e 8.



Fonte: Autor, 2021



Fonte: Autor, 2021

É possível analisar a partir das tabelas e gráficos acima, que em apenas 5 anos de funcionamento de ambos os sistemas, no ano 2026 o VPL torna-se positivo, com isso ambos os projetos se tornam viáveis, alcançando no ano 25 com valor de R\$. 2.473.885,30 – Sede da Prefeitura e R\$. 6.259.350,75 – Povoado Ingazeira.

5.6 TIR

A partir através dos valores de fluxos de caixa e capital próprio investido, pode-se adquirir a TIR para cada ano, em concordância com as Tabelas 30 e 31.

Tabela 30 - TIR Sede da Prefeitura.

ANO	FLUXO DE CAIXA [R\$]	CAPITAL PRÓPRIO [R\$]	TIR [%]
2022	21.151,15	115.438,45	-81,68
2023	24.755,69	115.438,45	-43,64
2024	28.883,89	115.438,45	-18,15
2025	33.403,58	115.438,45	-2,37
2026	38.552,41	115.438,45	7,72
2027	44.335,50	115.438,45	14,46
2028	50.910,00	115.438,45	19,11
2029	58.100,85	115.438,45	22,42
2030	66.241,39	115.438,45	24,84
2031	60.346,30	115.438,45	26,31
2032	84.352,51	115.438,45	27,7
2033	95.490,77	115.438,45	28,77
2034	108.043,36	115.438,45	29,59
2035	122.040,48	115.438,45	30,24
2036	137.802,11	115.438,45	30,76
2037	155.014,55	115.438,45	31,17
2038	174.337,05	115.438,45	31,5
2039	195.823,06	115.438,45	31,77
2040	219.930,78	115.438,45	31,98
2041	246.242,18	115.438,45	32,16

2042	275.680,42	115.438,45	32,3
2043	308.341,82	115.438,45	32,42
2044	344.874,93	115.438,45	32,52
2045	384.723,36	115.438,45	32,6
2046	429.193,64	115.438,45	32,66

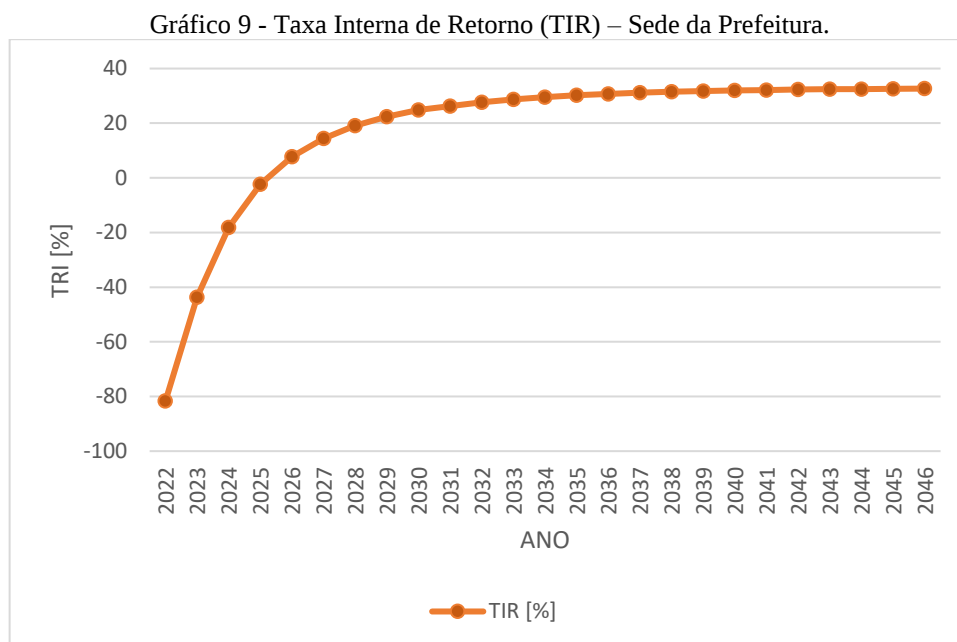
Fonte: Adaptado de SOLergo, 2021

Tabela 31 - TIR Sede da Prefeitura.

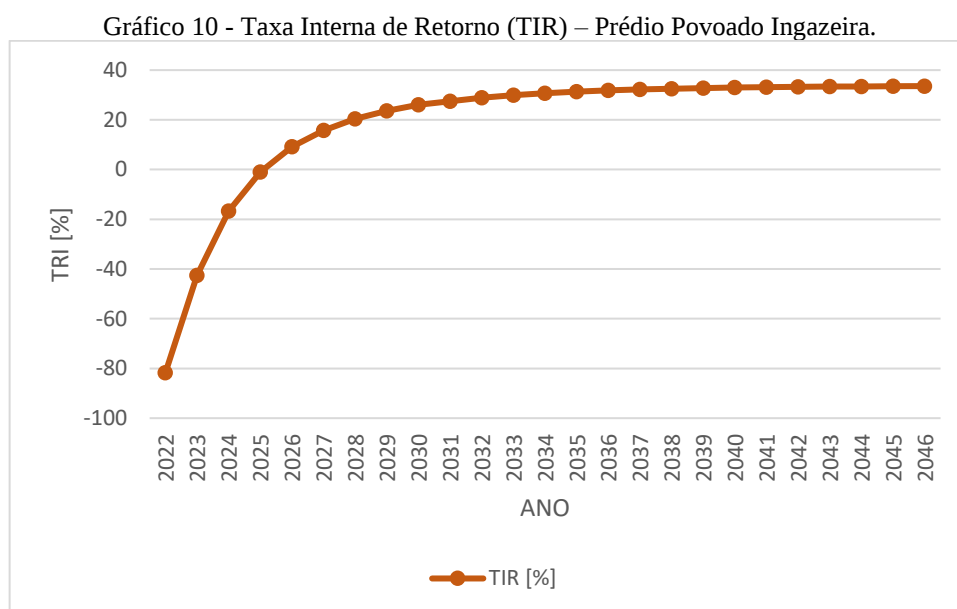
ANO	FLUXO DE CAIXA [R\$]	CAPITAL PRÓPRIO [R\$]	TIR [%]
2022	51.553,16	281.278,21	-81,68
2023	63.314,02	281.278,21	-42,52
2024	74.002,48	281.278,21	-16,72
2025	85.463,18	281.278,21	-0,92
2026	98.644,72	281.278,21	9,13
2027	113.449,50	281.278,21	15,8
2028	130.445,21	281.278,21	20,4
2029	148.702,83	281.278,21	23,66
2030	169.543,74	281.278,21	26,02
2031	162.855,51	281.278,21	27,53
2032	216.863,08	281.278,21	28,87
2033	245.235,12	281.278,21	29,9
2034	277.443,19	281.278,21	30,7
2035	313.355,69	281.278,21	31,32
2036	354.110,51	281.278,21	31,81
2037	397.989,16	281.278,21	32,2
2038	445.223,42	281.278,21	32,51
2039	496.955,37	281.278,21	32,76
2040	556.061,49	281.278,21	32,96
2041	620.142,41	281.278,21	33,12
2042	691.620,18	281.278,21	33,25
2043	770.586,23	281.278,21	33,36
2044	858.628,10	281.278,21	33,44
2045	953.581,15	281.278,21	33,51
2046	1.057.670,50	281.278,21	33,57

Fonte: Adaptado de SOLergo, 2021

Para uma melhor visualização dos dados obtidos, tem-se os Gráficos 32 e 32 a seguir.



Fonte: Autor, 2021



Fonte: Autor, 2021

A partir do Gráfico 9 e 10, é possível analisar de forma mais clara o desempenho da TIR ao decorrer dos anos, atingindo os valores de 32,66% - Sede da Prefeitura e 33,57% - Prédio do povoado Ingazeira, no ano 2046, com isso tem-se uma taxa do projeto obtida maior que a taxa

mínima de atratividade para que os sistemas fossem considerados viáveis, sendo assim, considerado um resultado positivo, pelo fato da TIR ser maior que a TMA que é de 2%.

5.7 Considerações finais

Com este capítulo é possível efetivar de fato a finalidade do trabalho inicialmente, que consiste na aquisição dos valores dos indicadores com o objetivo de mensurar a análise dos investimentos, e, por meio dos resultados do *payback* descontado, VPL e TIR ser possível observar e analisar a viabilidade do projeto fotovoltaica conectada à rede no Prédio da Sede da Prefeitura e no Prédio do Povoado Ingazeira, uma vez que, possui todos os requisitos necessários para decidir aceitar ou não os projetos.

Através da análise do fluxo de caixa anual, durante o período da pesquisa, pode-se obter o retorno do investimento do sistema, que é o *payback*, em apenas 5 anos de ambos os sistemas, o que é considerado positivo, no qual tem-se o retorno do investimento do sistema em um período curto de tempo, sendo a vida útil do sistema é de 25. Com base nisso, mesmo considerando os custos e despesas anuais, pode-se avaliar que os sistemas praticamente só darão lucro.

Ao ser calculado o VPL achou-se por meio dos somatórios dos fluxos de caixa descontados pela taxa de desconto de 2% no período de 25 anos, em que o valor alcançado foi de R\$. 2.473.885,30 – Sede da Prefeitura e R\$. 6.259.350,75 – Prédio no Povoado Ingazeira. Com isso, tem-se que o projeto é viável, ao atender os critérios do VPL, que consistem no valor ser positivo.

Por último o terceiro indicador, a TRI, foi calculado e analisado, com os valores de 32,66% - Sede da Prefeitura e 33,57% - Prédio do povoado Ingazeira, no ano 2046, sendo valores positivos e viabilizando o projeto, em razão de ser maior o valor maior que a TMA definida para a análise, de 10%. Portanto, o valor da taxa obtida no projeto é maior do que taxa mínima que se espera alcançar com o investimento, por isso é considerada aceitável.

6 CONCLUSÕES GERAIS

Este trabalho teve como objetivo principal o estudo da viabilidade econômica da implantação de sistema fotovoltaico conectado à rede no Prédio da Sede da Prefeitura e em um Prédio Público localizado no Povoado Ingazeira, ambos no município de Monte Alegre do Piau, com análises de viabilidade mediante de indicadores financeiros. Com um ponto muito importante, quando o país passa por redução de custos, além de reduzir os gastos com eletricidade, o sistema proposto também oferece a possibilidade de produzir eletricidade limpa e eficiente por meio do uso da energia solar.

Os capítulos 1 e 2 viabilizaram o entendimento da finalidade do trabalho, a metodologia que seria aplicada, demonstrando base teórica sobre energia solar, caracterizando o sistema fotovoltaico conectado à rede, auxiliando o conhecimento sobre a principal fonte do trabalho.

No capítulo 3 foi realizado as primeiras considerações acerca da viabilidade do investimento e análise dos indicadores financeiros que seriam aplicados para aquisição da finalidade do trabalho.

Em seguida no capítulo 4, foi efetuado o levantamento de dados do Prédio da Sede da Prefeitura e do Prédio do Povoado Ingazeira, como consumo de energia, tipo de consumidor em que ambos se encaixavam, quais tarifas são empregadas e a radiação do município. A partir de então, foi possível dimensionar os sistemas fotovoltaicos propostos utilizando o Software SOlego, no qual a Sede da Prefeitura possuía uma potência nominal de 17,12 kWp para produzir um total de 28749,1 kWh de energia e o Prédio do Povoado Ingazeira possuía 43,87 kWp para produzir um total de 73669,6 kWh.

Finalizando o estudo, o capítulo 5 trouxe os resultados das análises econômicas, no qual com a utilização do *Software* SOlego, obtém-se que o retorno do investimento inicial será de 5 anos de ambos os projetos, o VPL positivo de R\$. 2.473.885,30 e TIR de 32,66% para o sistema do Prédio da Sede da Prefeitura e VPL positivo de R\$. 6.259.350,75 e TIR de 33,57% no Prédio do Povoado Ingazeira, comprovam os benefícios que o sistema poderá fornecer ao longo do tempo, mesmo com as taxas, juros, inflação e reajustes tarifários, o projeto mostrou-se muito viável.

Este trabalho destaca a importância da implementação da energia fotovoltaica, visto que à medida que o custo dos sistemas fotovoltaicos diminui ano a ano, os preços da energia continuam a aumentar, o que torna a microgeração e a microgeração cada vez mais atrativas. Além disso, as pessoas estão mais preocupadas com as questões ambientais, sendo assim,

enquanto economizam energia, produzem energia de forma limpa para preservar o meio ambiente.

Finalmente, espera-se que o trabalho realizado contribua para fomentar a implementação de sistemas solares fotovoltaicos não somente nesses dois prédios do município de Monte Alegre do Piauí, como também em outros prédios públicos da cidade e região, com o objetivo de incentivar o desenvolvimento sustentável, visto que os resultados obtidos se têm mostrado prósperos em termos de viabilidade econômica. Incluindo a minigeração e microgeração distribuída como forma de diversificação da matriz energética brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR. **Brasil entra no top 10 de países que mais instalaram energia solar em 2020.** Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/brasil-entra-no-top-10-de-paises-que-mais-instalaram-energia-solar-em-2020/>>. Acesso em: 27 de mai. 2021.

ABSOLAR. **Entenda como funciona a energia solar fotovoltaica.** Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/o-que-e-energia-solar-fotovoltaica/#:~:text=1%20%E2%80%93%20Os%20m%C3%B3dulos%20captam%20a,pode%20voltar%20para%20a%20rede.>>. Acesso em: 27 de mai. 2021.

ABSOLAR. **Energia Solar é Limpa? Entenda seu Conceito e Tecnologias.** Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-e-limpa-entenda-seu-conceito-e-tecnologias/>>. Acesso em 16 de jun. 2021.

ABSOLAR. **Piauí lidera ranking na geração de energia solar fotovoltaica no Brasil.** Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/piaui-lidera-ranking-na-geracao-de-energia-solar-fotovoltaica-no-brasil-segundo-absolar/>>. Acesso em 23 de jul. 2021.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Resolução Normativa nº 482/2012.** Brasília: ANEEL, 2012.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Resolução Normativa nº 687/2015.** Brasília: ANEEL, 2012.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Geração Distribuída.** Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em: 06 de jun. 2021.

ANEEL. **Tarifas Consumidores.** Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores/asset_publisher/zNaRBjCLDgbE/content/modalidade/654800?inheritRedirect=false>. Acesso em: 21 de nov. 2021.

ANEEL. **ANEEL define que bandeira tarifária de julho custará R\$ 9,492 a cada 100 kWh.** Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/aneel-define-que-bandeira-tarifaria-de-julho-custara-r-9-492-valor-sera-analisado-em-consulta-publica/656877?inheritRedirect=false&redirect=https://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: 21 de nov. 2021.

ANEEL. **Geração Distribuída.** Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em: 21 de nov. 2021.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414, DE 9 DE SETEMBRO DE 2010.** Disponível em:

<<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/3bd33297-26f9-4ddf-94c3-f01d76d6f14a?version=1.0>>. Acesso em: 13 de dez. 2021.

ANEEL. FAQ: Tire suas dúvidas sobre a Bandeira Escassez Hídrica.

https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVlZ6/content/faq-tire-suas-duvidas-a-sobre-bandeira-escassez-hidrica/656877?inheritRedirect=false&redirect=https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_zXQREz8EVlZ6%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D3. Acesso em: 13 de dez. 2021.

BRASIL. Lei nº 7.471, 18 de janeiro de 2021. Dispõe sobre o financiamento e aquisição facilitada do sistema de energia solar fotovoltaico, Teresina, PI, de 18 de jun. 2021.

Disponível em: <<http://www.diariooficial.pi.gov.br/diario.php?dia=20210118>>. Acesso em: 24 de jul. 2021.

CASTRO, M.L.D; DAL ZOT, W. Matemática Financeira: fundamentos e aplicações. Porto Alegre: Bookman, 2015.

CRECESB. Radiação Solar. Disponível em:

<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=301>. Acesso em: 07 de jun. 2021.

DACHERY, J. GUIA DO INVERSOR SOLAR. Disponível em:

<<https://energes.com.br/fale-energes/inversor-solar-o-cerebro-do-sistema-fotovoltaico/>>. Acesso em: 28 de jun. 2021.

DRUMOND, P. Análise econômica e elaboração de propostas comerciais para projetos FV. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/analise-economica-e-elaboracao-de-propostas-comerciais-para-projetos-fv/>>. Acesso em 12 de jul. 2021.

FOCUS. O que é Geração Distribuída: descubra suas vantagens. Disponível em:

<<https://www.focusenergia.com.br/o-que-e-geracao-distribuida-descubra-suas-vantagens/>>. Acesso em: 10 de jun. 2021.

GREENPRO. Energia Fotovoltaica – Manual Sobre Tecnologias, Projeto e Instalações. União Europeia: ALTENER, 2004.

GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR – GTES. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: Ediouro Gráfica e Editora S.A., 2004.

IEA (Intertational Energy Agency). Atualização do mercado de energia renovável 2021.

Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-2021>>. Acesso em: 24 de mai. 2021.

IEA (Intertational Energy Agency). **Construindo um futuro energético seguro e sustentável para todos**. Disponível em: <<https://www.iea.org/>>. Acesso em 27 de mai. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 36 p.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. Pesquisa geral no site. Disponível em: < http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp >. Acesso em: 10 de jun. 2021.

LAU, L. **Como saber se a energia solar é viável financeiramente**. Disponível em: <<https://sharenergy.com.br/como-saber-se-a-energia-solar-e-viavel-financeiramente/>>. Acesso em: 12 de jul. 2021.

LEMES, Junior; BARBOSA, Antônio; CHEROBIM, Ana Paula; RIGO, Cláudio. **Administração Financeira: princípios, fundamentos e práticas brasileiras**. 5 reimpressão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.

RUTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**. LABSOLAR, 2004. Disponível em: <<https://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf>>. Acesso em: 13 de dezembro de 2021.

LINEU BELICO, R, L. **Geração de Energia Elétrica**. 2. ed. Barueri: Manole, 2011. 15 p.

PEREIRA, Osvaldo LS; GONÇALVES, Felipe F. Dimensionamento de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica: estudo de caso do sistema de Tubarão–SC. **Revista Brasileira de Energia**, v. 14, n. 1, p. 25-45, 2008.

PINHO, João T.; GALDINO, Marco A. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. **Rio de Janeiro: CEPEL-CRESESB**, 2014.

QUINTELLA, Marcus Vinicius. **Análise de Projetos de Investimentos**. Rio de Janeiro: FGV Management.

ANEXOS

ANEXO 1 - Datasheet Módulo Fotovoltaico JINKO SOLAR Tiger Pro JKM535M-72HL4-BDVP

www.jinkosolar.com



Bifacial HC 72M 515-535 Watt

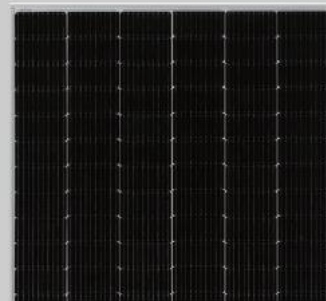
MONOCRYSTALLINE MODULE

Positive power tolerance of 0~+3%

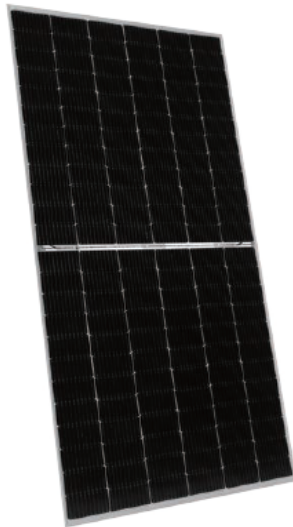
ISO9001:2015, ISO14001:2015, ISO45001:2018
certified factory.

IEC61215, IEC61730, certified products.

TIGER Pro



KEY FEATURES



Multi Busbar Solar Cell

MBB solar cell adopts new technology to improve the efficiency of modules, offers a better aesthetic appearance, making it perfect for rooftop installation.



PID Resistance

Excellent Anti-PID performance guarantee limited power degradation for mass production.



Higher Lifetime Power Yield:

0.45% annual power degradation
30 year linear power warranty



Higher power output:

Module power increases 5-25% generally (per different reflective condition)
lower LCOE and higher IRR



Better low-light performance:

Excellent performance in low-light environments
(e.g. early morning, dusk, and cloud, etc.)

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

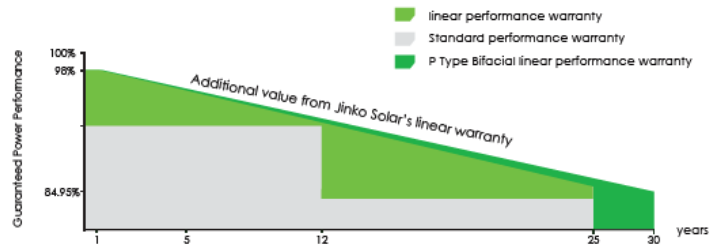
12 Year Product Warranty • 30 Year Linear Power Warranty
0.45% Annual Degradation Over 30 years



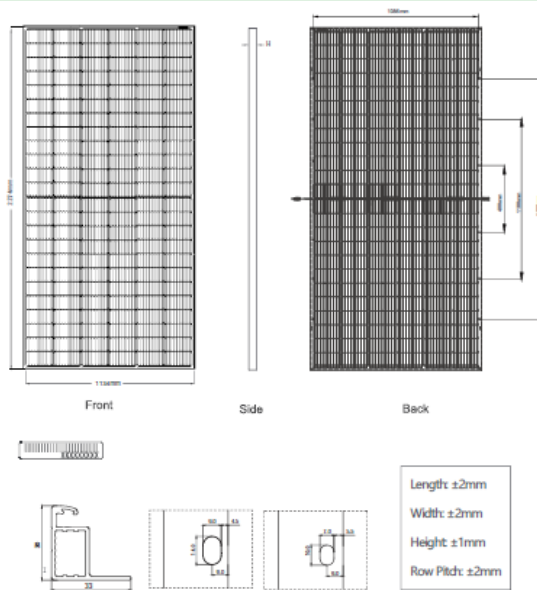


LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

12 Year Product Warranty • 30 Year Linear Power Warranty
0.45% Annual Degradation Over 30 years



Engineering Drawings

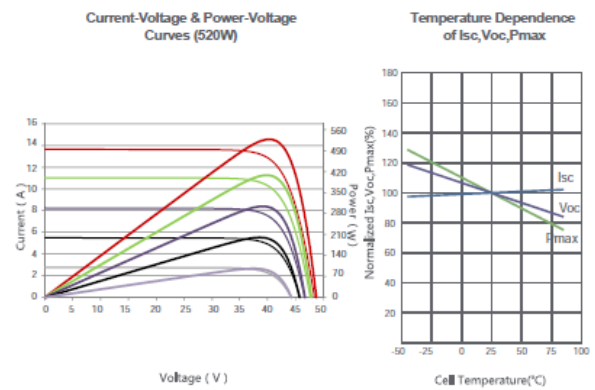


Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)

35pcs/pallets, 70pcs/stack, 630pcs/ 40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	P type Mono-crystalline
No. of cells	144 (6×24)
Dimensions	2274×1134×30mm (89.53×44.65×1.18 inch)
Weight	34.3 kg (75.62 lbs)
Front Glass	2.0mm, Anti-Reflection Coating
Back Glass	2.0mm heat strengthened glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm ² (+): 250mm, (-): 150mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM515M-72HL4-BDVP		JKM520M-72HL4-BDVP		JKM525M-72HL4-BDVP		JKM530M-72HL4-BDVP		JKM535M-72HL4-BDVP	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	515Wp	383Wp	520Wp	387Wp	525Wp	391Wp	530Wp	394Wp	535Wp	398Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	40.65V	37.68V	40.73V	37.74V	40.80V	37.81V	40.87V	37.88V	40.94V	37.94V
Maximum Power Current (Imp)	12.67A	10.17A	12.77A	10.25A	12.87A	10.33A	12.97A	10.41A	13.07A	10.49A
Open-circuit Voltage (Voc)	49.30V	46.43V	49.36V	46.49V	49.42V	46.55V	49.48V	46.60V	49.54V	46.66V
Short-circuit Current (Isc)	13.43A	10.85A	13.53A	10.93A	13.63A	11.01A	13.73A	11.09A	13.83A	11.17A
Module Efficiency STC (%)	19.97%		20.17%		20.36%		20.55%		20.75%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	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									
Refer. Bifacial Factor	70±5%									

BIFACIAL OUTPUT-REAR SIDE POWER GAIN

5%	Maximum Power (Pmax)	541Wp	546Wp	551Wp	557Wp	562Wp
	Module Efficiency STC (%)	20.97%	21.17%	21.38%	21.58%	21.78%
15%	Maximum Power (Pmax)	592Wp	598Wp	604Wp	610Wp	615Wp
	Module Efficiency STC (%)	22.97%	23.19%	23.41%	23.64%	23.86%
25%	Maximum Power (Pmax)	644Wp	650Wp	656Wp	663Wp	669Wp
	Module Efficiency STC (%)	24.96%	25.21%	25.45%	25.69%	25.93%

* STC:  Irradiance 1000W/m²  Cell Temperature 25°C  AM=1.5

NOCT:  Irradiance 800W/m²  Ambient Temperature 20°C  AM=1.5  Wind Speed 1m/s

* Power measurement tolerance: ± 3%

©2020 Jinko Solar Co., Ltd. All rights reserved.
Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

JKM515-535M-72HL4-BDVP-A2(2)-EN IEC 2016

ANEXO 2 - Datasheet Inversor GROWATT MID KTL3-X MID 15KTL3-X e MAC KTL3-XL MAC 36KTL3-XL

MID 15KTL3-X
MID 20KTL3-X
MID 25KTL3-X

- Eficiência máxima 98,8%
- 40% compacto e mais leve
- Duplo MPPT
- Suporta controle de exportação
- Tecla sensível ao toque e display OLED
- DPS tipo II no lado CC



Growatt

POWER
- I N G O
T O M O -
R R O W O

Growatt

Ficha de Dados	MID 15KTL3-X	MID 20KTL3-X	MID 25KTL3-X
Dados de entrada			
Máxima potência fotovoltaica recomendada (para o módulo STC)	22500W	33000W	3700W
Máxima tensão CC		1100V	
Tensão de partida		250V	
Faixa de tensão de MPPT		180V-1000V	
Tensão nominal		580V	
Número de MPPT independentes / strings por MPPT	2/2+2	2/2+2	2/2+3
Máxima corrente máxima de entrada por string	25A	25A	25A/37.5
Máxima corrente de entrada	32A	32A	32A/48A
Saída (CA)			
Potência nominal de saída CA	15000W	20000W	25000W
Potência aparente máxima de CA	16600VA	22000VA	25000VA
Tensão nominal de saída CA (Faixa)		220V/380V(340V-440V)	
Frequência de rede CA(Faixa)		50/60Hz(45~55Hz/55-65Hz)	
Máxima corrente de Saída	24.2A	31.9A	36.2A
Fator de potência ajustável		0.8i-0.8c	
THDi		<3%	
Conexão CA		3W+N+PE	
Eficiência			
Máxima eficiência		98.8%	
Eficiência europeia		98.10%	
Eficiência MPPT		99.9%	
Dispositivos de proteção			
Proteção de polaridade reversa de CC		Sim	
Interruptor CC		Sim	
Proteção de sobretensão CC		Tipo II	
Monitoramento de falta à terra			
Proteção contra curto-circuito de saída		Sim	
Monitoramento de falta à terra		Sim	
Proteção de sobretensão CA		Tipo II	
Monitoramento de falha de String		-	
Proteção AFCI		-	
Dados Gerais			
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		Arrefecimento Inteligente	
Grau de proteção ambiental		IP65	
Altitude		4000m	
Humidade relativa		0~100%	
Conexão CC		H4 / MC4	
Características			
Exibição		OLED+LED WIFI+APP	
Interfaces: RS485 / USB		Sim	
Garantia: 5 anos		Sim	

MAC 15~36KTL3-XL

- 3 MPPTs
- Solução trifásica de 220V
- Display OLED e tecla touch
- Manutenção via WIFI+APP
- Eficiência Máxima de 98,8%



Growatt



www.ginverter.com

P O W E R
- I N G
T O M O -
R R O W

Ficha de dados	MAC 15KTL3-XL	MAC 20KTL3-XL	MAC 22KTL3-XL	MAC 25KTL3-XL	MAC 30KTL3-XL	MAC 36KTL3-XL
Dados de entrada						
Máxima potência fotovoltaica recomendada (para módulo STC)	19500W	26000W	28600W	32500W	39000W	46800W
Máxima tensão CC	1100V					
Tensão de partida	250V					
Tensão nominal	360V					
Faixa de tensão MPP	200V-1000V					
Número de rastreador MPP	3					
Número de strings fotovoltaicas por MPPT	4/4/4					
Máx. corrente de entrada por rastreador MPP	52A/52A/52A					
Máx. corrente curto-circuito por rastreador MPP	55A/55A/55A					
Saída (CA)						
Potência nominal de saída	15000W	20000W	22000W	25000W	30000W	36000W
Potência aparente máxima de CA	16600VA@220VAC	22200VA@220VAC	24400VA@220VAC	27800VA@220VAC	33300VA@220VAC	36000VA@220VAC 39200VA@240VAC
Tensão nominal de saída[Faixa]	127V/220V[101.6-139.7V]					
Frequência de rede CA[Faixa]	50/60 Hz[46–54/56–64Hz]					
Corrente nominal de saída CA	39.4A	52.5A	57.7A	65.6A	78.8A	94.5A
Máx. Corrente de saída	43.6A	58.3A	64.0A	73.0A	87.4A	94.5A
Fator de potência	>0.99					
Fator ajustável de potência	0.8i-0.8c					
THDI	<3%					
Tipo de conexão CA	3W+N+PE					
Eficiência						
Máx. Eficiência	98.8%					
Euro-eta	98.2%					
Dispositivo de proteção						
Proteção de polaridade reversa de CC	Sim					
Interruptor CC	Sim					
Proteção de surtos CC	Tipoll					
Monitoramento de resistência de isolamento	Sim					
Proteção de surtos CA	Tipoll					
Proteção de curto-circuito CA	Sim					
Monitoramento de rede	Sim					
Proteção anti-filamento	Sim					
Unidade de monitoramento de corrente residual	Sim					
Fusível de proteção da String	Não					
Monitoramento de string	Não					
Função Anti-PID	Não					
Proteção AFCI	Sim					
Dados Gerais						
Dimensões (L/A/P)	680/508/281mm					
Peso	≤52kg					
Faixa de temperatura operacional	- 25°C ... + 60°C (>45°C Derating)					
Emissão de ruído	≤60dB(A)					
Altitude	4000m					
Consumo naturo	1W					
Topologia	Sem transformador					
Resfriamento	Ventilador de refrigeração					
Grau de proteção eletrônica	IP65					
Humidade relativa	0–100%					
Conexões CC	H4(OPT)					
Conexões CA	Terminal OT					
Características						
Exibição	OLED+LED/WIFI+APP					
Interfaces: Rs485/USB/WIFI/GPRS/4G	Sim/Sim/Opc/Opc/Opc					
Fornecimento CA	NÃO					
IEC61000-6/3,IEC62109-1/2,IEC62116,IEC61727, IEEE1547, UL1741						