



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO ENGENHARIA DE PRODUÇÃO ELÉTRICA

BRUNO DALMARCO

Análise de viabilidade econômica da implantação de um sistema de geração
fotovoltaico em empresa na grande Florianópolis

Florianópolis

2023

Bruno Dalmarco

**Análise de viabilidade econômica da implantação de um sistema de geração
fotovoltaico em empresa na grande Florianópolis**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de engenharia de produção elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção Elétrica.

Orientador(a): Antonio Cezar Bornia

Florianópolis

2023

Dalmarco, Bruno

Análise de viabilidade econômica da implantação de um sistema de geração fotovoltaico em empresa na grande Florianópolis / Bruno Dalmarco ; orientador, Antonio Cezar Bornia , 2023.

68 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia de Produção Elétrica, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção Elétrica. 2. Energia fotovoltaica. 3. Sistemas fotovoltaicos. 4. Estudo de viabilidade econômica. I. Bornia , Antonio Cezar. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Produção Elétrica. III. Título.

Nome completo do(a) autor(a)

Bruno Dalmarco

Título: Análise de viabilidade econômica da implantação de um sistema de geração fotovoltaico em empresa na grande Florianópolis

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso Engenharia de Produção Elétrica.

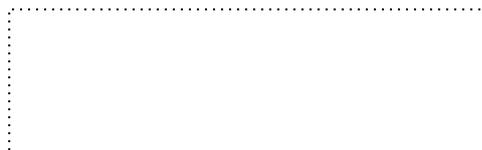
Local Florianópolis, 30 de Novembro de 2023



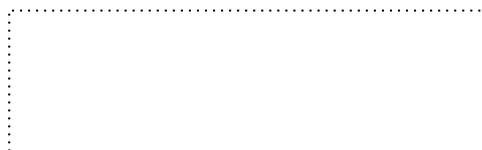
Banca examinadora



Prof.(a) Antonio Cezar Bornia Dr.(a)
Orientador(a)



Prof.(a) Guilherme Ernani Vieira Dr.(a)
Instituição UFSC



Prof.(a) Viviane Vasconcellos Ferreira Grubisic Dr.(a)
Instituição UFSC

Florianópolis, 2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Dynamox, por permitir ser objeto de estudo deste trabalho, e principalmente a minha família e amigos que sempre me apoiaram nesta longa jornada no curso de engenharia de produção elétrica. Por último, mas não menos importante, agradeço ao meu orientador professor Borna pelo apoio imprescindível nesta reta final.

RESUMO

Atualmente, empresas de diversos setores buscam simultaneamente a sustentabilidade ambiental e a redução de custos operacionais. Diante da tendência global de popularização da energia fotovoltaica, este trabalho investigou a viabilidade econômica da implementação de um sistema fotovoltaico em uma empresa na grande Florianópolis. A metodologia envolveu a especificação dos elementos-chave do sistema de acordo com as necessidades da empresa, a análise das despesas e receitas associadas e a avaliação da viabilidade econômica por meio de indicadores específicos. Os resultados revelaram que o investimento, no montante de R\$ 290.402,01, é não apenas viável, mas também atrativo, com um período de payback estimado em 5 anos. Além dos benefícios econômicos, destaca-se a contribuição ambiental, evidenciada pela redução nas emissões de carbono e pela geração sustentável de energia. Este estudo contribui para a compreensão do potencial e dos benefícios da adoção de sistemas fotovoltaicos por empresas na região, proporcionando uma análise aprofundada da viabilidade econômica.

Palavras-chave: Energia fotovoltaica, sistemas fotovoltaicos, viabilidade econômica.

ABSTRACT

Currently, companies from various sectors are actively seeking both environmental sustainability and operational cost reduction. Given the global trend of popularizing photovoltaic energy, this study investigated the economic feasibility of implementing a photovoltaic system in a company in the greater Florianópolis area. The methodology involved specifying key elements of the system according to the company's needs, analyzing associated expenses and revenues, and assessing economic viability through specific indicators. The results revealed that the investment, totaling R\$ 290,402.01, is not only viable but also attractive, with an estimated payback period of 5 years. In addition to economic benefits, the study emphasizes environmental contributions, evidenced by a reduction in carbon emissions and sustainable energy generation. This research contributes to understanding the potential and benefits of adopting photovoltaic systems by companies in the region, providing an in-depth analysis of economic feasibility.

Keywords: Photovoltaic energy, photovoltaic systems, economics viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz energética Mundial - 2020.....	15
Figura 2 - Matriz Energética Brasileira 2022.....	16
Figura 3 – Oferta interna de energia 2013-2022.....	16
Figura 4 - Preço em Dólar por Watt para sistemas fotovoltaicos residenciais de 2010 a 2020 nos EUA.....	22
Figura 5 - Potência fotovoltaica global instalada em GW.....	23
Figura 6 - Evolução Capacidade Instalada em de MMGD (micro e mini geração distribuída) em MW na Alemanha.....	24
Figura 7 - Evolução Capacidade Instalada em GW no Brasil.....	24
Figura 8 - Projeção da capacidade instalada fotovoltaica para o Brasil.....	25
Figura 9 – Sistemas fotovoltaicos isolados (SFI).....	26
Figura 10 - Sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCD).....	27
Figura 11 - Fluxograma dos procedimentos para manipulação dos dados de entrada para uso no modelo BRASIL-SR.....	30
Figura 12 - Linha do tempo da regra de transição.....	32
Figura 13 - Vista aérea Dynamox.....	37
Figura 14 - Fluxograma da Metodologia.....	38
Figura 15 - consumo mensal de 2022.....	42
Figura 16 - Layout painéis solares.....	45
Figura 17 - Estimativa - Consumo vs Geração para o ano de 2023.....	46
Figura 18 - Estimativa de geração de energia por ano.....	47
Figura 19 - Créditos de energia gerados pelo SFV.....	48
Figura 20 - VPL e TIR vs Aumento anual no consumo.....	51
Figura 21 - VPL e TIR vs Redução dos créditos.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Irradiação Solar.....	43
Tabela 2 - Modelos de módulos fotovoltaicos levantados em pesquisa de mercado.....	43
Tabela 3 - Modelos de Inversores.....	44
Tabela 4 - Parâmetros do layout dos painéis.....	45
Tabela 5 - Investimentos necessários para a instalação do SFV.....	49
Tabela 6 - Tempo de Payback.....	50

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA POR ANO	57
APÊNDICE B - ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR ANO	58
APÊNDICE C - ESTIMATIVA GASTOS COM O&M	59
APÊNDICE D – ESTIMATIVA DE CRÉDITOS DE ENERGIA ELÉTRICA ...	60
APÊNDICE E – ESTIMATIVA DA FATURA COM SFV	61
APÊNDICE F – ESTIMATIVA DA FATURA SEM SFV	62
APÊNDICE G – ESTIMATIVA DE ECONOMIA COM O SFV	63
APÊNDICE H - ESTIMATIVA DE FLUXO DE CAIXA	64

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A - FOLHA DE DADOS DO MÓDULO ODA550-36V-MH	66
ANEXO B - FOLHA DE DADOS DO INVERSOR SOFAR 80KTLX-G3	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APEBRO - Associação Brasileira de Engenharia de Produção

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CA – Corrente alternada

CC – Corrente Contínua

FDI – Fator de dimensionamento do inversor

FV – Fotovoltaica

GD – Geração – distribuída

HSP – Horas de sol pleno

I_{mpp} – Corrente de ponto de máxima potência

I_{sc} – Corrente de curto-circuito

kWp - Quilowattpico

MPPT – Maximum power point tracker ou rastreador de ponto de máxima potência

SFCR – Sistema fotovoltaico conectado à rede

SFI – Sistema fotovoltaico isolado

SFV – Sistema fotovoltaico

TIR – Taxa interna de retorno

TMA – Taxa mínima de atratividade

UC – Unidade consumidora

V_{mpp} – Tensão de ponto de máxima potência

V_{oc} – Tensão de circuito aberto

VPL – Valor presente líquido

Sumário

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	15
1.2	OBJETIVO GERAL.....	18
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.4	JUSTIFICATIVA	18
1.5	ESTRUTURA.....	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
2.1	CONTEXTUALIZAÇÃO MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA	21
2.2	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS (SFV)	26
2.2.1	Sistemas fotovoltaicos isolados (SFI)	26
2.2.2	Sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR).....	27
2.2.3	Módulos fotovoltaicos	27
2.2.4	Inversor.....	28
2.3	RECURSO SOLAR.....	29
2.4	DIMENSIONAMENTO DO GERADOR	30
2.5	LEGISLAÇÃO.....	31
2.6	INDICADORES DE VIABILIDADE ECONÔMICA	33
2.6.1	Taxa Mínima de Atratividade (TMA).....	33
2.6.2	Valor Presente Líquido (VPL)	33
2.6.4	Payback.....	35
2.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
3	METODOLOGIA	36
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	36
3.2	OBJETO DE ANÁLISE.....	36
3.3	PROCEDIMENTO UTILIZADO.....	37
3.3.1	Avaliar a necessidade energética	38
3.3.2	Definir a potência do gerador	39
3.3.3	Escolher o inversor	39
3.3.4	Definir o Layout dos módulos	39
3.3.5	Estimar a geração.....	39
3.3.6	ANALISAR A VIABILIDADE ECONÔMICA	40
3.3.7	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	41
4	RESULTADOS.....	42

4.1	AVALIAR A NECESSIDADE ENERGÉTICA.....	42
4.2	DEFINIR A POTÊNCIA DO GERADOR.....	42
4.3	ESCOLHER O INVERSOR.....	44
4.4	DEFINIR O LAYOUT DOS MÓDULOS.....	45
4.5	ESTIMAR A GERAÇÃO.....	46
4.6	ANALISAR A VIABILIDADE ECONÔMICA	48
4.6.1	Investimentos	48
4.6.2	Operação e Manutenção	49
4.6.3	Receita	49
4.6.4	Fluxo de Caixa	50
4.6.5	Indicadores obtidos	50
4.7	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	51
4.7.1	Varição no consumo.....	51
4.7.2	Varição nas despesas de operação e manutenção.....	51
4.7.3	Aproveitamento dos Créditos	52
5	CONCLUSÃO.....	53
	REFERÊNCIAS.....	54

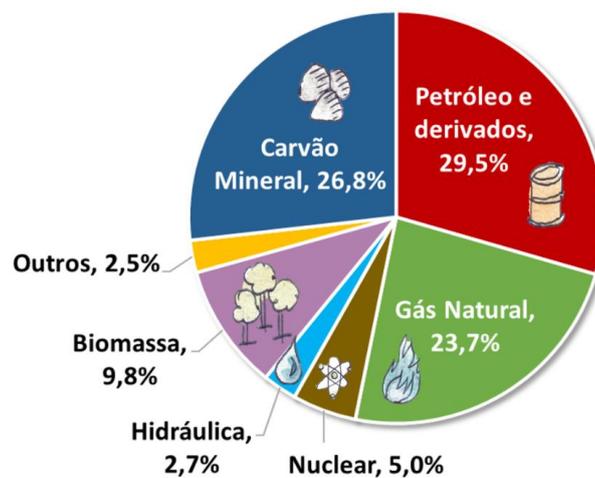
1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O sistema elétrico está passando por grandes mudanças, como a disseminação das energias solar e eólica, e a disseminação dos veículos elétricos. Essas mudanças decorrem, principalmente, das preocupações do século atual com as questões ambientais. Os impactos das mudanças climáticas em um planeta cada vez mais populoso e industrializado são uma realidade e estão relacionados a necessidade de desenvolver tecnologias que empreguem recursos energéticos mais sustentáveis.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2023), a matriz energética mundial ainda é majoritariamente não renovável, proveniente de fontes como gás natural, petróleo e carvão, conforme apresentado na Figura 1.

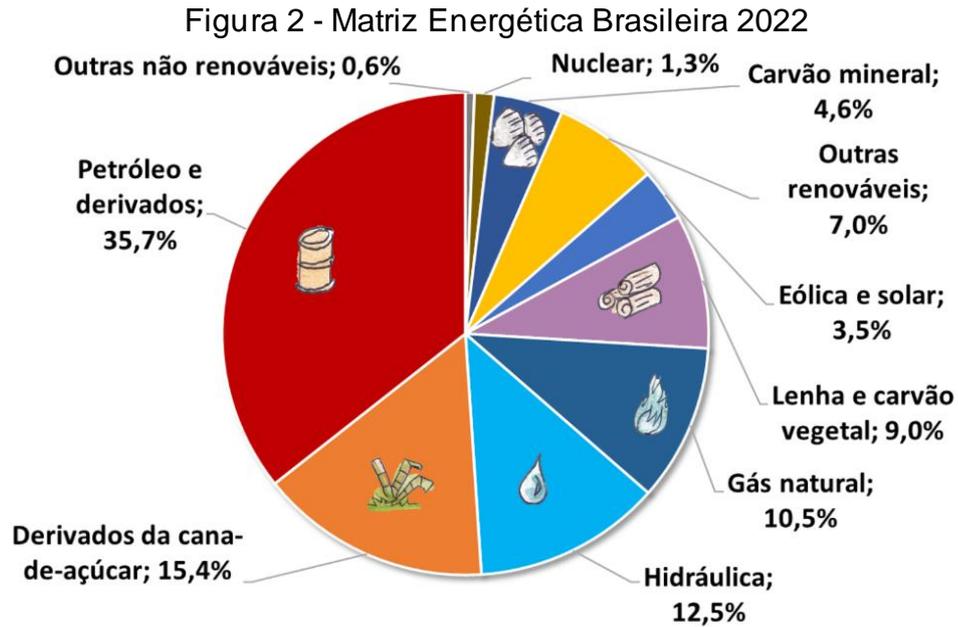
Figura 1 - Matriz Energética Mundial - 2020



Fonte: EPE, 2023

Observa-se que cerca de 15% da energia utilizada no mundo é renovável, incluindo: hidráulica, biomassa e outros. As energias fotovoltaica e eólica estão na categoria outros, que consiste apenas 2,5% da matriz energética mundial.

A matriz energética brasileira é consideravelmente diferente da mundial, sendo as fontes renováveis mais presentes, como se verifica na Figura 2.

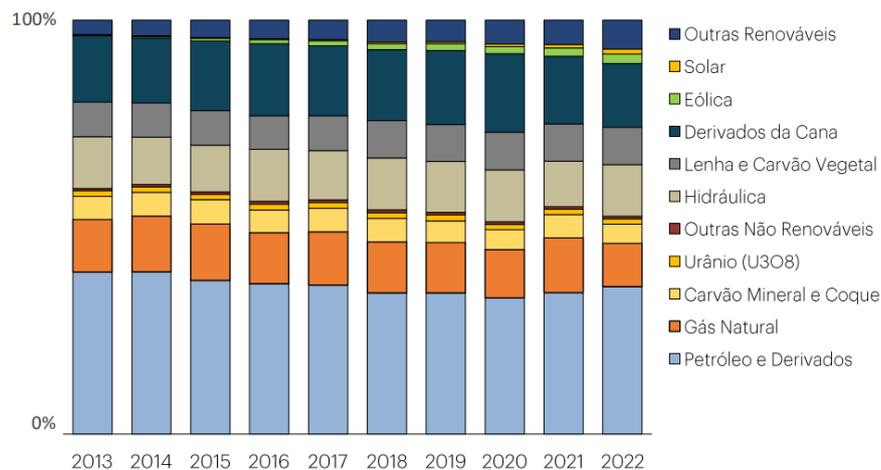


Fonte: EPE, 2023

Ao analisar a Figura 2, observa-se que 47,4% das energias utilizadas são renováveis (lenha, carvão vegetal, hidráulica, derivados de cana, eólica e solar e outras renováveis), sendo que 3,5% são de proveniência solar ou eólica.

Historicamente a matriz energética brasileira é mais renovável, como apresenta a Figura 3.

Figura 3 – Oferta interna de energia 2013-2022
Oferta Interna de Energia 2013-2022



Fonte: EPE, 2023.

A Figura 3 demonstra a popularização da energia solar no Brasil, que aumentou 600% entre os anos de 2013 e 2022, de acordo com o Balanço Energético Nacional

de 2023, EPE (2023). O Sul é a segunda maior região brasileira produtora de energia solar, sendo responsável por 4 GW de potência instalada, com a presença de mais de 379 mil usinas solares. Santa Catarina é responsável por 26% de toda a produção de energia solar da região Sul. Está em 5º lugar no ranking de maiores produtores de energia solar no Brasil, totalizando 1.397,8 megawatts de potência instalada. De 2021 para 2023, o estado subiu duas posições. Além disso, segundo ANEEL (2023), Florianópolis lidera o ranking de municípios brasileiros, com 854,5 MW de potência.

De acordo com Morais, Silva, Moraes e Barbosa (2021), a quantidade de instalações de sistemas de geração fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil cresceu nos últimos anos em virtude da publicação das Resoluções Normativas de 2012 e 2015, que padronizaram a inclusão da energia fotovoltaica na matriz energética brasileira e facilitaram a utilização da geração distribuída. Acrescenta-se, ainda, a Resolução Normativa de 2021 que, ao estabelecer as regras de prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica, define as responsabilidades dos agentes e os procedimentos a serem seguidos pelos consumidores para que o acesso universal ao serviço de energia elétrica esteja disponível com qualidade e eficiência.

A energia solar fotovoltaica vem se tornando uma boa opção para o futuro por ser a fonte de energia mais abundante na natureza, especialmente no Brasil cuja extensão territorial permite que esse recurso seja explorado significativamente, Franco (2013). Além disso, os painéis fotovoltaicos oferecem a grande vantagem de serem instalados nos edifícios onde essa energia é consumida, reduzindo drasticamente os custos com distribuição. Segundo Davi (2013), a energia solar fotovoltaica é a que mais apresenta possibilidades de integração com o envoltório das edificações, em razão de seu avanço tecnológico e, principalmente, da facilidade de instalação e grande capacidade de operação em edificações.

Segundo a EPE (2012), a instalação dos painéis fotovoltaicos em telhados vem sendo cada vez mais utilizada, com destaque na Alemanha, Espanha, Itália e Estados Unidos, reduzindo o preço de implantação do sistema, uma vez que 60% do custo é correspondente aos painéis. Além disso, é possível observar a instalação nos três setores do mercado: residenciais, comerciais e industriais. O setor industrial necessita cerca de 33,78 vezes da potência que o setor comercial consome, de acordo com o EPE (2011). Assim sendo, a difusão da energia solar oferece uma alternativa energética e ambiental, mas também econômica e social.

A empresa, objeto desse estudo, é uma indústria de médio porte localizada na Grande Florianópolis, especializada no setor de manutenção preditiva. A empresa fabrica Gateways e Dataloggers para o monitoramento de grandes ativos. Com o foco de se tornar cada vez mais competitiva no mercado, tem buscado soluções para reduzir seus custos operacionais sem geração de impacto aos produtos produzidos e serviços prestados.

Assim, a empresa está avaliando a instalação de painéis fotovoltaicos no telhado do prédio no qual funciona sua sede e operação. Seu principal objetivo é a redução de custos com energia elétrica. Portanto, se faz necessário uma análise de viabilidade econômica, comparando os potenciais investimentos, custos e receitas provenientes dessa empreitada.

Em função desta necessidade, definiu-se o tema deste trabalho como sendo a análise de viabilidade econômica de implantação de sistemas fotovoltaicos em empresas.

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é verificar a viabilidade econômica da implantação um sistema fotovoltaico em uma empresa na grande Florianópolis.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Dimensionamento do sistema fotovoltaico para a empresa estudada;
- Pesquisa de mercado para escolha dos componentes e definição dos investimentos iniciais;
- Cálculo das despesas e receitas;
- Cálculo e análise dos indicadores.

1.4 JUSTIFICATIVA

Com o cenário econômico cada vez mais competitivo, empresas de todos os ramos buscam formas de reduzir os seus custos operacionais. Em paralelo a isso, existe ainda um movimento para a utilização de fontes de energias renováveis, uma vez que o consumo de energia global vem aumentando exponencialmente desde a Revolução Industrial, em detrimento da capacidade de restabelecimento dos recursos prioritariamente utilizados como carvão, petróleo e gás natural. Agrega-se a este

cenário, os impactos ambientais provocados pela emissão de gás carbônico e outros gases responsáveis pelo efeito estufa.

As células fotovoltaicas convertem a luz solar em energia elétrica, de forma silenciosa e sustentável, tendo um impacto mínimo. Outro fator é que os custos de instalação de equipamentos solares fotovoltaicos estão diminuindo rapidamente, enquanto os custos dos efeitos externos do uso de fontes convencionais (usinas hidrelétricas, por exemplo) continuam a aumentar, Echegaray (2014), assim como os custos referentes às tarifas convencionais de energia elétrica.

As células fotovoltaicas podem, inclusive, ser sobrepostas ao sistema de vedação da edificação – BAPV (Building Applied Photovoltaics) ou substituir elementos construtivos e/ou revestimentos da edificação – BIPV (Building Integrated Photovoltaics), Bender, Leitzke, Freitas, Cunha e Salamoni (2020). Bender *et al* (2020) afirmam, ainda, que “edifícios comerciais são uma opção viável para o uso integrado dos Sistemas Fotovoltaicos (SFV), pois além de apresentarem alto consumo de energia elétrica, em função da demanda em iluminação, equipamentos e da climatização artificial, existe sincronicidade entre a geração e o consumo” (*ibid*, p. 490). Santos (2015) adverte, por sua vez, que esses edifícios apresentam grande disponibilidade de área nas fachadas para geração; consumo elevado de energia por metro quadrado; e maior disponibilidade de capital para investimento em geração fotovoltaica, quando comparado com o setor residencial.

Em seu estudo, Bender *et al* (2020) citaram duas pesquisas relevantes ao tema: o estudo de Didoné *et al* (2014) no qual os autores analisaram a contribuição da energia solar para a transformação de edifícios de escritórios brasileiros em edifícios ZEB (Zero Energy Buildings) em duas cidades: Florianópolis e Fortaleza. A aplicação de diversas tecnologias fotovoltaicas em diferentes partes do envoltório dos edifícios possibilitou a avaliação de seu potencial quando aplicado em diferentes inclinações e orientações. Os SFV contribuíram com 21% da energia gerada em Florianópolis e 11% em Fortaleza. E o estudo de Sorgato *et al* que concluiu o potencial benefício econômico na substituição dos materiais convencionais por módulos solares fotovoltaicos em uma fachada e no telhado em seis cidades brasileiras. Tais pesquisas endossam a possível viabilidade econômica dos SFV aplicados em áreas comerciais, industriais ou mesmo residenciais na região sul do Brasil.

Nesse contexto, o presente trabalho busca verificar a viabilidade da instalação de um sistema fotovoltaico sobreposto em uma empresa localizada na Grande Florianópolis, com o principal objetivo de reduzir os seus custos operacionais.

De acordo com a Associação Brasileira de Engenharia de Produção (2008), a engenharia de produção pode ser subdividida em 10 subáreas. Este estudo se enquadra na subárea de engenharia econômica, que visa a formulação, estimação e avaliação de resultados econômicos para avaliar alternativas para a tomada de decisão, consistindo em um conjunto de técnicas matemáticas que simplificam a comparação econômica.

Ainda segundo a APEBRO (2008), a subárea de engenharia econômica pode ser subdividida em outras 4 (quatro) classificações. O trabalho se enquadra na classificação gestão de investimentos.

1.5 ESTRUTURA

O trabalho está estruturado da seguinte maneira:

- **Capítulo 2:** traz a revisão bibliográfica, fazendo uma contextualização da micro e minigeração distribuída no mundo, a legislação vigente, bem como um detalhamento dos equipamentos necessários para geração solar;
- **Capítulo 3:** aborda a metodologia utilizada para calcular o dimensionamento da planta fotovoltaica, da estimativa de geração solar, e da viabilidade econômica do empreendimento;
- **Capítulo 4:** mostra os resultados do trabalho, conforme a metodologia adotada;
- **Capítulo 5:** apresenta as considerações finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A crise do petróleo foi um marco no impulso das fontes de energias renováveis. Desde então, pesquisas e iniciativas com subsídios governamentais vêm sendo implementados com o objetivo de alavancar o seu uso nas grandes potências mundiais, como EUA, China, Japão e Alemanha. A Alemanha, mesmo sendo um dos países mais enevoados do mundo, destaca-se por ter contribuído com um grande investimento nos painéis fotovoltaicos desde 1990. Estes investimentos viabilizaram a redução dos custos dos painéis e sua popularização anos mais tarde em outros países, como o Brasil, que registrou no ano de 2022 um recorde histórico na disseminação dessa fonte no país, Haller (2021). Pelas condições geográficas, registrando bons índices de irradiação solar, o Brasil se beneficia no aproveitamento da geração de energia por esta fonte.

Estima-se que a energia solar emite de 21 a 40g de CO_2 equivalente por kWh (CO_2 eq/kWh), considerando todo o processo de fabricação. Como comparação, muitas usinas a carvão produzem mais de 1.000g de CO_2 eq/kWh, e mesmo a energia a carvão “mais limpa” geralmente está acima de 700g de CO_2 eq/kWh. A geração a gás natural é menos poluente, com emissões acima de 400 g de CO_2 eq/kWh, mas ainda 10 vezes superiores ao pior cenário dos painéis solares, Pehl (2017).

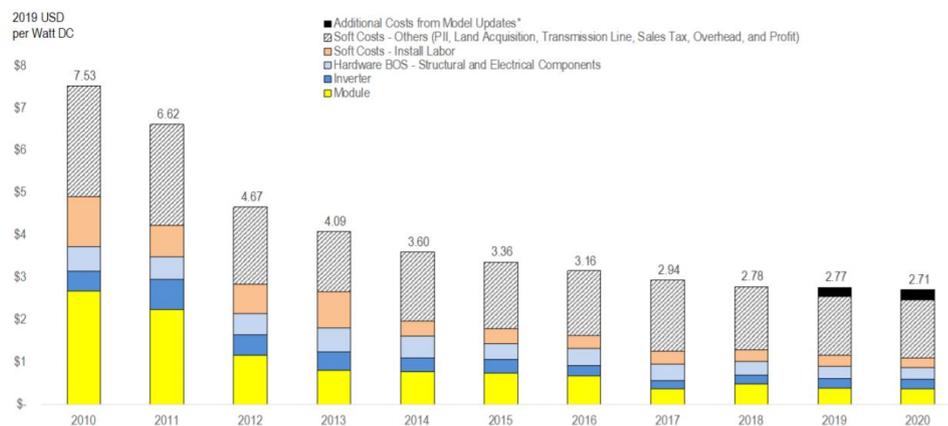
Apesar da fonte solar ser a mais representativa, a sigla MMGD representa a micro e minigeração distribuída, englobando as fontes hidráulica, eólica e biomassa, além da solar. No Brasil, as primeiras regulamentações começaram a surgir em 2012. Neste ano, a microgeração englobava as centrais geradoras de capacidade instalada igual ou inferior a 100kW, enquanto a minigeração englobava as centrais geradoras de capacidade instalada superior a 100kW e menor ou igual a 1MW.

Desde então, diversos aspectos relacionados a esta classificação, sistema de compensação, diferentes normas relacionadas à produção de energia destas fontes e a sua relação com a rede vem sendo criadas e modificadas. Dentre essas Resoluções Normativas, destacam-se a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015 e a mais recente Resolução Normativa nº 1.000/2021. Em 2015, a faixa e potência instalada para classificação como micro ou minigeração, foi alterada, e a que está em vigor atualmente é a seguinte:

- **Microgeração:** potência instalada menor ou igual a 75kW;
- **Minigeração:** potência instalada superior a 75kW e menor ou igual a 3MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5MW para cogeração qualificada ou fontes renováveis.

Por consequência, a energia fotovoltaica tem ficado cada vez mais acessível no Brasil. Em outras partes do mundo o mesmo acontece, como apresentado na Figura 4 em relação aos Estados Unidos.

Figura 4 - Preço em Dólar por Watt para sistemas fotovoltaicos residenciais de 2010 a 2020 nos EUA

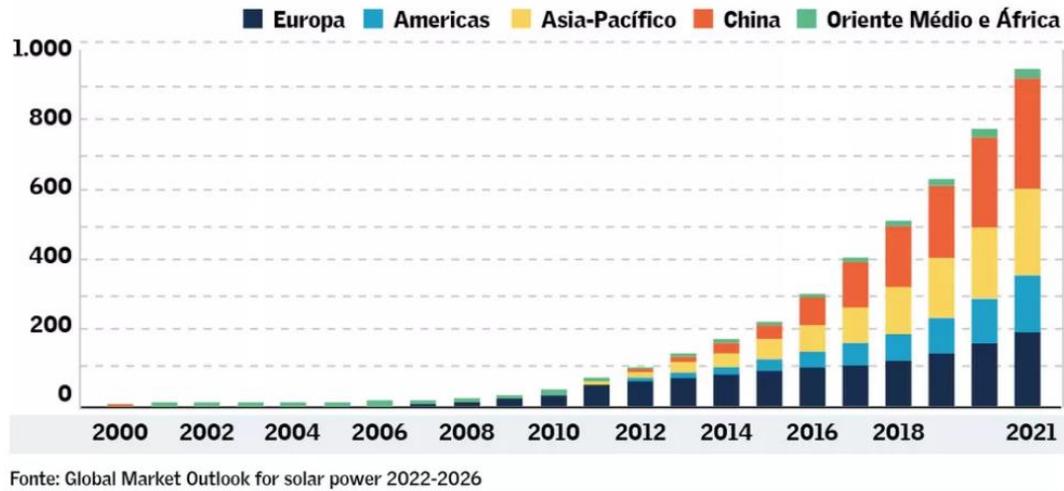


Fonte: Feldman, 2021

Conforme demonstrado na Figura 4, de 2010 a 2020, houve uma redução de 64% no custo por Watt gerado nos sistemas fotovoltaicos residenciais. Aproximadamente 57% dessa redução pode ser atribuída ao total de custos de hardware, com preços de módulo reduzindo 85% neste período. Um adicional de redução de 20% pode ser atribuído aos custos de mão de obra, que caíram 84% no período analisado. Os 22% finais são atribuíveis a outros custos indiretos, incluindo, imposto sobre vendas, despesas gerais e lucro líquido, Feldman (2021).

Já a Figura 5 evidencia a potência fotovoltaica global instalada pelo mundo.

Figura 5 - Potência fotovoltaica global instalada em GW

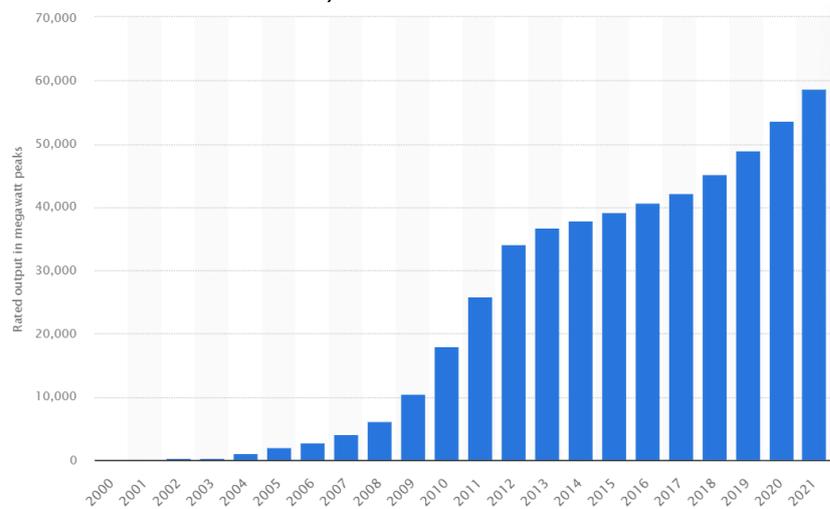


Fonte: Europe Solar Power, 2021

Conforme ilustrado na Figura 5, a potência global fotovoltaica instalada em 2021 foi aproximadamente 940 GW. Num cenário pessimista, é esperado que esse valor dobre até 2026, e num cenário otimista é esperado que esse valor triplice até este ano. Também é significativa a capacidade instalada da China, ultrapassando os 300 GW, Europe Solar Power (2021).

Na Alemanha, país que se destaca entre os principais geradores de energia solar no mundo, observou-se um expressivo aumento da potência instalada a partir de 2010, como se verifica na figura 6:

Figura 6 - Evolução Capacidade Instalada em de MMGD (micro e minigeração distribuída) em MW na Alemanha.

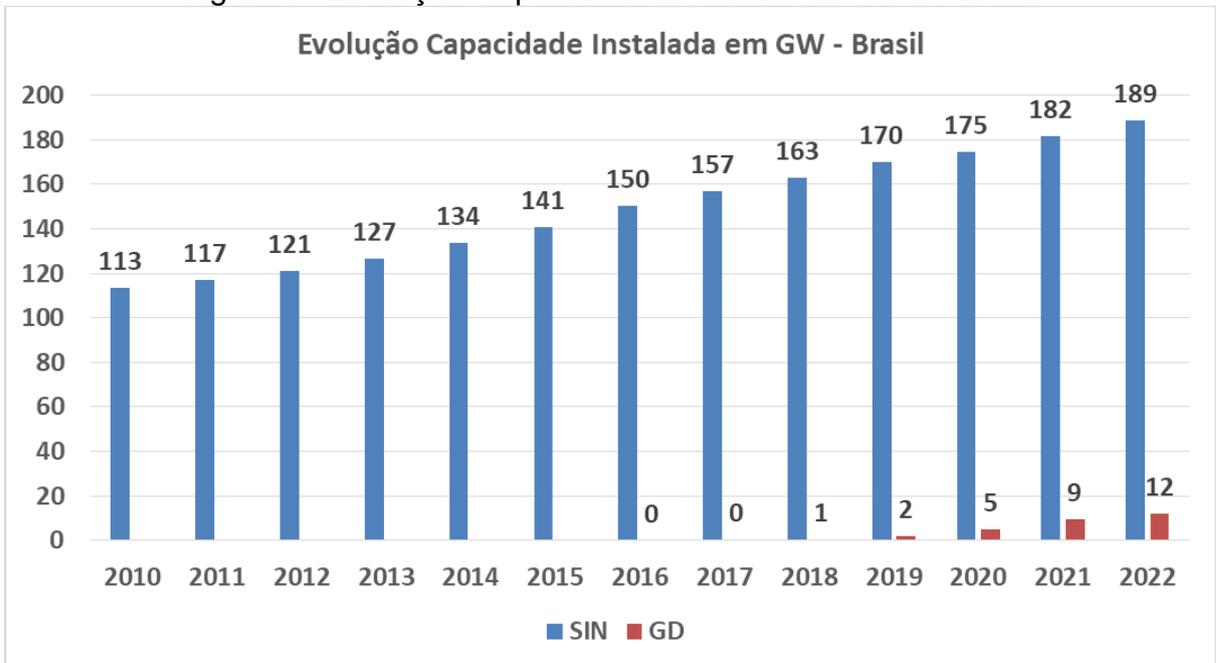


Fonte: Statista, 2021

Note-se que até 2010 a capacidade era de cerca de 18.000 MW, evoluindo para quase 60.000 MW em 2021.

A Figura 7 traz a comparação da capacidade instalada de geração de energia do Brasil e da MMGD (micro e minigeração distribuída) ao longo dos anos.

Figura 7 - Evolução Capacidade Instalada em GW no Brasil

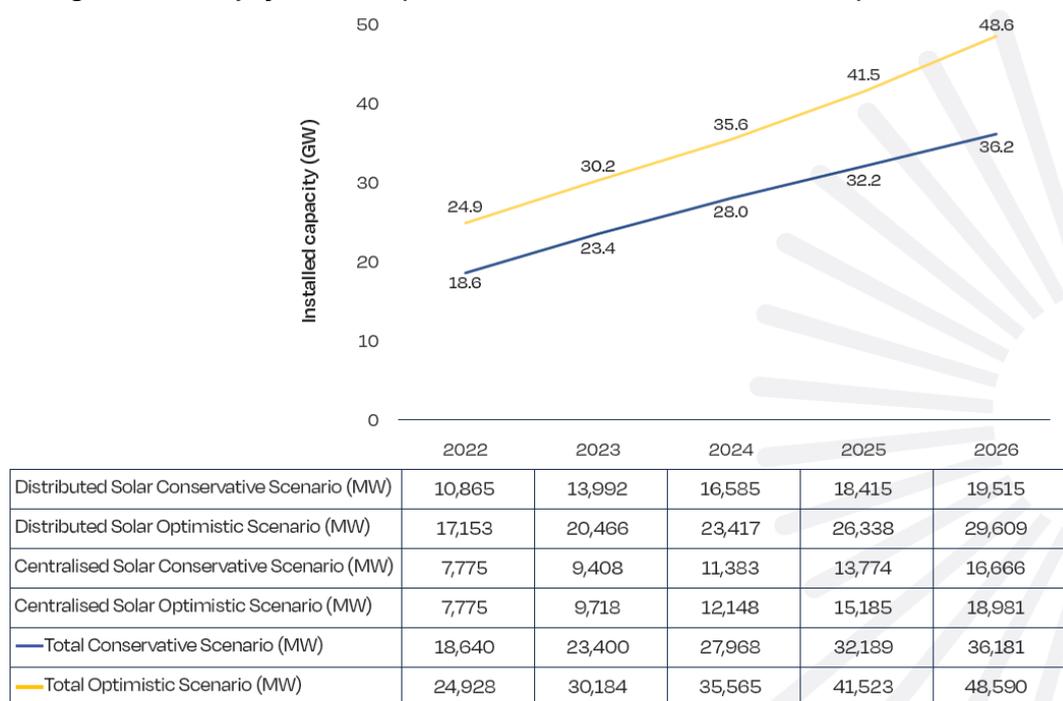


Fonte: Anexo I – EPE, 2022

O patamar alcançado pelo Brasil em 2022 (12 GW), já havia sido alcançado pela Alemanha no início de 2010 (20.000 MW). Ou seja, 12 anos antes. Porém, desde 2018, esse número vem crescendo significativamente no país, e pela projeção estimada do Europe Solar Power (2021), até 2026 o Brasil sairá da 16ª para 5ª colocação em relação à potência instalada mundial.

A Europe Solar Power traz, ainda, uma projeção da capacidade instalada fotovoltaica no Brasil até 2026, como apresenta a Figura 8.

Figura 8 - Projeção da capacidade instalada fotovoltaica para o Brasil



SOURCE: ABSOLAR (2022) and official projections from EPE (2022).

© SOLARPOWER EUROPE 2022

Fonte: Europe Solar Power, 2022

Considerando os dados, em um cenário otimista, o Brasil chegará aos 48MW, sendo aproximadamente 50% desse valor alocado para geração centralizada e 50% para geração distribuída.

Com base nas projeções apresentadas é possível identificar uma tendência no Brasil e no mundo de popularização e acessibilidade de sistemas fotovoltaicos e de energia solar.

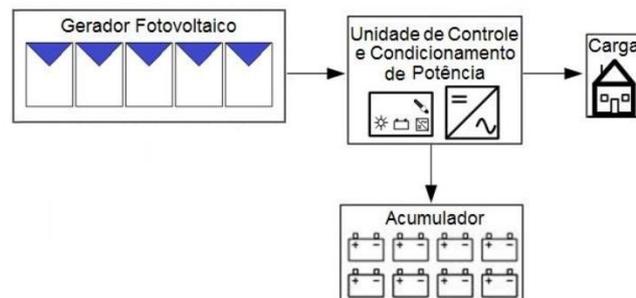
2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS (SFV)

Sistema Fotovoltaico (SFV) é um sistema capaz de gerar energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico, pelo qual com uma célula fotovoltaica (dispositivo fabricado de material semicondutor) acontece a conversão direta da luz em eletricidade. Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em duas principais categorias: isolados e conectados à rede. A escolha entre estas opções de sistema varia muito dependendo da aplicação, disponibilidade de energia e principais objetivos, Pinho e Galdinho (2014).

2.2.1 Sistemas fotovoltaicos isolados (SFI)

Uma das principais utilizações de sistemas fotovoltaicos isolados (SFI), representados na Figura 9, é o seu papel nos programas de eletrificação rural do país, como uma forma de prover energia elétrica para consumidores que não são atendidos pelos distribuidores de energia. Sistemas isolados geralmente possuem acumuladores de carga (baterias) para garantir a disponibilidade de energia quando a geração não é suficiente para atender a demanda.

Figura 9 – Sistemas fotovoltaicos isolados (SFI)



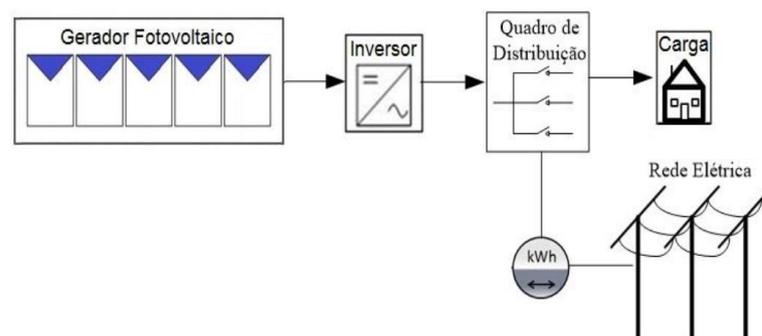
Fonte: Pinhop; Galdinho, 2014

Conforme a Figura 9, SFIs não têm conexão com a rede elétrica pública. Esses sistemas ainda não são regulamentados no Brasil e a tipificação escolhida influencia diretamente na escolha de seus componentes e na forma de instalação dos equipamentos.

2.2.2 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR)

Nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede não se faz necessário o uso de acumuladores (baterias), pois a energia gerada pode ser consumida diretamente pela carga ou injetada na rede elétrica convencional, onde será consumida por outras unidades consumidoras. Esses sistemas devem operar na mesma frequência e tensão da rede local. A energia gerada pelo sistema fotovoltaico e a consumida proveniente da rede é medida por um medidor bidirecional (ou dois medidores). Com isso, o consumidor recebe créditos equivalentes à energia excedente gerada pelo seu sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR). O esquemático dos SFCR está representado na Figura 10:

Figura 10 - Sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR)



Fonte: Pinho; Galdinho, 2014

Os seus principais componentes são o gerador fotovoltaico e o inversor. O gerador fotovoltaico é composto por células fotovoltaicas, responsáveis por realizar a conversão da irradiação solar para energia elétrica. Essa energia elétrica é gerada em corrente contínua. O papel do inversor é converter e tratar a energia gerada pelo gerador para que fique de acordo com a energia usada na rede de distribuição (220 V, 60 Hz).

Este tipo de sistema (conectado à rede) foi o escolhido para esse trabalho, em função da importância do aproveitamento dos créditos de energia.

2.2.3 Módulos fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são a parte do sistema responsável por converter a radiação solar em corrente elétrica. Isso é obtido por meio do efeito fotovoltaico. Seu

princípio de funcionamento é baseado em materiais conhecidos como semicondutores (Carbono, Silício, Germânio, Arsênio, Fósforo, Selênio e Telúrio). Nos semicondutores é possível que fótons (provenientes da radiação solar) possam fazer com que elétrons mudem de camada nos átomos, gerando uma diferença de potencial. A principal tecnologia utilizada atualmente para a sua fabricação são lâminas de silício cristalino (monocristalino ou policristalino). Um módulo fotovoltaico é composto por diversas células fotovoltaicas conectadas em série ou paralelo, Pinho e Galdinho (2014).

As especificações técnicas dos módulos fotovoltaicos são fundamentais para o dimensionamento e especificação do gerador. A incompatibilidade entre as células fotovoltaicas e os outros componentes do gerador pode causar o efeito “Mismatch”, que leva a queda de eficiência do gerador.

Suas especificações técnicas são obtidas por meio de testes em condições controladas (1000W/m² de irradiação, 25°C, coeficiente de massa de ar AM 1.5.), sendo as seguintes:

- V_{oc} – Tensão de circuito aberto;
- I_{sc} – Corrente de curto-circuito;
- V_{mp} – Tensão de máxima potência;
- I_{mp} – Corrente de máxima potência;
- P_{mp} – Potência máxima do módulo.

Importante ressaltar que a corrente gerada por um módulo fotovoltaico varia de forma proporcional a irradiação solar que está agindo sobre esse módulo.

2.2.4 Inversor

O inversor é um componente fundamental para o gerador fotovoltaico e a sua função é fornecer energia elétrica em corrente alternada (c.a), a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua (c.c). No caso do sistema fotovoltaico, a fonte em c.c são os módulos fotovoltaicos e a energia em c.a é fornecida para a rede elétrica. Como o inversor está conectado à rede elétrica, a tensão de saída deve ser sincronizada com a tensão da rede.

Os seguintes parâmetros devem ser considerados na escolha de um inversor: tensão de entrada c.c, tensão de saída c.a, faixa de variação de tensão aceitável, potência nominal, potência de surto, frequência, forma de onda, grau de proteção IP e outros. O tipo de sistema (SFI ou SFCR) também influencia o tipo de inversor que será utilizado, Pinho e Galdinho (2014).

Para sistemas SFCR, é importante verificar a quantidade de entradas independentes com MPPT (seguimento do ponto de potência máxima) para conexão de mais de uma fileira de módulos (strings). Isso é crítico para garantir que cada fileira possa operar de forma ótima, mesmo que possuam níveis de radiação solar diferentes (caso estejam instalados em lados diferentes do telhado, por exemplo).

2.3 RECURSO SOLAR

Conforme mencionado anteriormente, sistemas fotovoltaicos convertem a irradiação solar em energia elétrica. Portanto, a disponibilidade do sol e a sua irradiação são fatores críticos para o desempenho do sistema fotovoltaico.

Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), o potencial de recursos solares envolve três principais fatores: a distribuição espacial, sua variabilidade temporal e as incertezas associadas às duas primeiras componentes.

O mapeamento do potencial solar pode ser feito com duas principais abordagens: coleta em superfície e modelos satelitais.

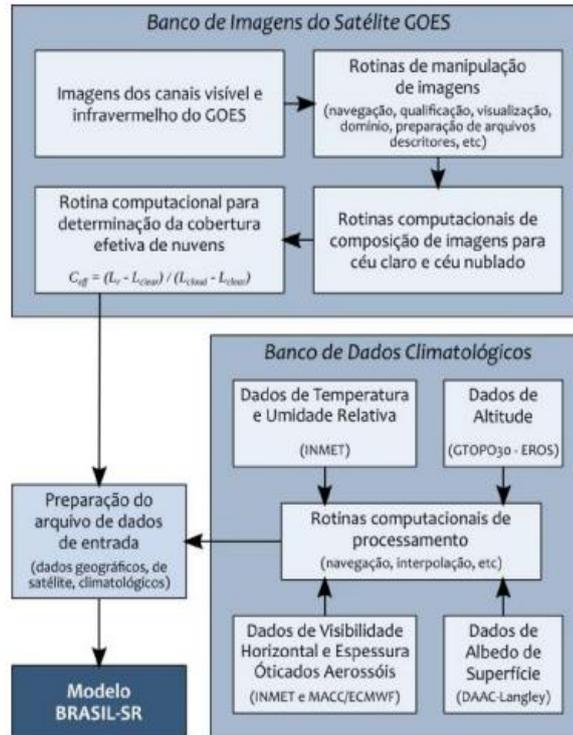
Na coleta em superfície, é utilizada a interpolação de dados coletados na superfície com equipamentos de medições específicas. Porém, segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), os erros nesse tipo de abordagem tendem a serem superiores àqueles observados na utilização de modelos satelitais.

O uso de modelos satelitais necessita de uma grande quantidade de dados referentes ao clima da região estudada que, em conjunto com informações sobre a irradiação solar e posição do local estudado, são alimentados em modelos numéricos para avaliação do potencial.

Neste trabalho, para realizar o cálculo da energia solar gerada em cada mês, foi aplicado o mesmo modelo utilizado pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017): modelo físico de transferência radiativa, BRASIL-SR.

Na Figura 11 apresenta-se o esquemático do modelo utilizado, BRASIL-SR.

Figura 11 - Fluxograma dos procedimentos para manipulação dos dados de entrada para uso no modelo BRASIL-SR



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2017

O modelo Brasil SR utiliza dois blocos principais: banco de imagens do satélite e banco de dados climatográficos. Com o banco de imagens é possível verificar a temperatura de cada local por infravermelho e, com auxílio de uma rotina computacional, verificar a incidência de nuvens em cada lugar (quão nublado cada localização é).

Já com o banco de dados climatológicos, obtêm-se as informações precisas de temperatura, umidade e altitude para todos os lugares do mundo. Também é possível a coleta de informações quanto à visibilidade.

Com base nestes dois blocos, o modelo faz uma estimativa da incidência solar em cada local do mundo, por pequenas zonas.

2.4 DIMENSIONAMENTO DO GERADOR

O gerador é dimensionado de acordo com o consumo da edificação e a incidência solar. A sua potência é calculada com base na equação 01:

$$P_{fv}(W_p) = \frac{\left(\frac{E}{TD}\right)}{HSP_{MA}} \quad (1)$$

Fonte: Pinho; Galdinho 2014

Sendo:

$P_{FV}(W_p)$ – Potência de pico do gerador fotovoltaico

E (Wh/dia) – Consumo diário médio anual da edificação

HSP_{MA} (h) – Média diária anual da HDP incidente no plano do painel FV

TD (adimensional) – Taxa de desempenho

Segundo Pinho e Galdinho (2014), a taxa de desempenho de um SFV é uma relação entre o desempenho real de um sistema sobre o desempenho máximo possível. Considera-se todas as perdas envolvidas no sistema, bem como as perdas por quedas de tensão, sombreamento, eficiência do inversor, temperatura operacional, dentre outras. Para sistemas de pequeno porte, essa taxa de desempenho normalmente fica entre 70% e 75%. Em sistemas de grande porte deve ser calculada com o auxílio de programas de simulação.

2.5 LEGISLAÇÃO

Dentre as resoluções normativas que estabelecem as regras da MMDG, destacam-se:

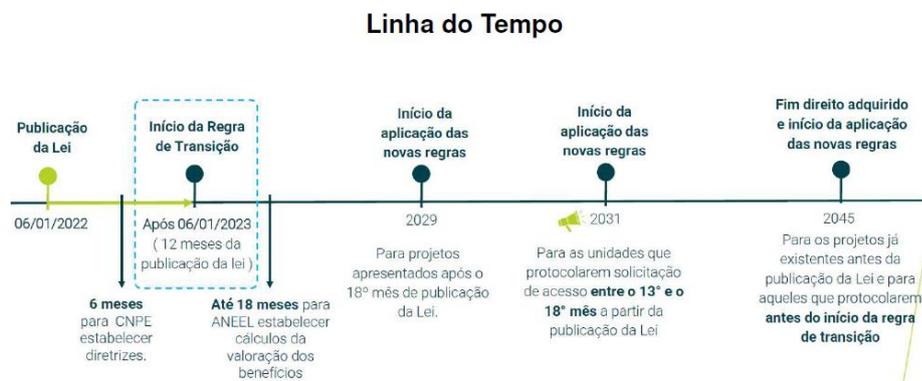
- a) Resolução Normativa nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que padronizou a inclusão da energia fotovoltaica na matriz energética brasileira, por meio das modalidades de micro e minigeração distribuídas;
- b) Resolução Normativa nº 687/2015 da ANEEL, que alterou a resolução anterior e estabeleceu condições e facilidades para a utilização da geração distribuída para os anos seguintes. A potência permitida para a microgeração, que era de até 100 kW, passou a ser de até 75 kW, e para a minigeração, que era permitida de 100 kW a 1 MW, passou a ser de 75 kW a 5 MW.
- c) Resolução Normativa nº 1.000/2021 da ANEEL, que estabelece as regras de prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica, dispondo sobre os direitos e deveres dos consumidores.

Atualmente, quando a energia elétrica gerada pelo estabelecimento for superior à energia elétrica utilizada no período, o excedente poderá ser cedido à distribuidora, transformando-se em créditos a serem compensados em kWh. Com isto, estes créditos poderão ser utilizados pelo prazo de 60 dias para redução das faturas de energia elétrica dos meses seguintes.

Além disso, até o ano de 2022, o consumidor estava isento da parcela da fatura referente à cobrança do Fio B. O kWh cobrado é composto pela Tarifa de Energia (TE): valor pago pela energia que uma residência ou empresa consome por mês; e a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD): tarifa cobrada pelo uso do sistema de distribuição, ou seja, o custo da concessionária para levar a energia da fonte até o consumidor final, incluindo instalações, equipamentos, subestações, transformadores e postes. O Fio B é um custo que faz parte da TUSD.

A Figura 12, ilustra a linha do tempo sobre a mudança na tarifação dessa parcela do Fio B.

Figura 12 - Linha do tempo da regra de transição



Fonte: SharEnergy, 2023

Verifica-se que as solicitações de painéis à concessionária até 06/01/2023 tiveram isenção dessa parcela até o ano de 2045, e as solicitações realizadas após esta data, serão inseridas na regra de transição, de acordo com a resolução 1.000/2021 da ANEEL.

Como dito anteriormente, as alterações legislativas que ocorreram na última década foram cruciais para modificar o panorama de uso dos SFVs isolados ou conectados à rede no Brasil.

2.6 INDICADORES DE VIABILIDADE ECONÔMICA

2.6.1 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

A TMA é uma taxa que define o ganho financeiro mínimo esperado por um investidor. Para determinar essa taxa, deve-se considerar as oportunidades perdidas ao aplicar o capital em um determinado projeto e não em outro investimento. Além disso, necessário examinar os riscos envolvidos no projeto. Para empreendimentos de baixo risco, utiliza-se, comumente, as taxas de juros equivalentes àsquelas previstas para investimentos considerados seguros, Casarotto Filho e Kopittke, (2010); Megliorini e Vallim, (2009).

Souza e Clemente (2009) afirmam que a TMA é a melhor taxa, com baixo grau de risco, disponível para aplicação do capital em análise. A decisão de investir sempre terá pelo menos duas alternativas para serem avaliadas: investir no projeto ou investir na Taxa Mínima de Atratividade.

Rasoto et al (2012) define que a TMA é “uma taxa de juros que representa o mínimo que um investidor espera ganhar ao fazer um investimento ou o máximo que um tomador de dinheiro se dispõe a pagar quando faz um financiamento” (Rasoto et al, 2012, p. 92). É usada na descapitalização do fluxo esperado de benefícios de um projeto de investimento, como a variável chave para os métodos analíticos, sendo específica para cada empresa. De modo geral, equivale ao custo de oportunidade de capital, expresso sob a forma de taxa de juros, Silva (2005).

2.6.2 Valor Presente Líquido (VPL)

O Método do VPL, também denominado Método do Valor Atual Líquido, tem como finalidade determinar um valor no instante considerado inicial, a partir de um fluxo de caixa formado de uma série de receitas e dispêndios, Hirschfeld (2007).

Kassai (2000) considera o VPL um dos instrumentos mais utilizados para avaliar investimentos. Este mede a riqueza dos investimentos, com a diferença entre entradas e saídas descontadas por uma determinada taxa de juros.

Degen (2009) também acredita que o VPL é uma das técnicas mais utilizadas para avaliação de negócios. Acrescenta, ainda, que é essencial o desconto das movimentações por uma taxa de juros, de modo a representar os riscos do

investimento, visto que uma quantia que a empresa possui no presente momento está sujeita a menos riscos que uma que tem a receber no futuro.

O cálculo do VPL é feito com a equação 02:

$$VPL = \sum_{n=1}^K \frac{FC_n}{(1+TMA)^n} + FC_0 \quad (2)$$

Fonte: Degen, 2009

Onde FC_n é o fluxo de caixa líquido, e k é a vida útil do projeto.

Ainda segundo Degen (2009), o VPL pode ser avaliado da seguinte maneira:

- VPL igual a zero indica que a remuneração do investimento é igual a taxa de desconto requerida pelo risco do novo negócio. Portanto, o investimento no novo negócio atinge a remuneração do investimento esperado pelo candidato a empreendedor, pelos empreendedores e pelos investidores.

- VPL maior do que zero indica que a remuneração do investimento é maior do que a taxa de desconto requerida pelo risco do novo negócio. Portanto, o candidato a empreendedor está recebendo uma remuneração superior à requerida pelo risco do novo negócio e, conseqüentemente, está aumentando o seu patrimônio pessoal no montante do valor presente líquido do investimento. O valor presente líquido é positivo quando a oportunidade de investir no novo negócio vale mais do que o valor exigido pela remuneração do investimento esperada pelo candidato a empreendedor, pelos empreendedores e pelos investidores.

- VPL menor do que zero indica que a remuneração do investimento é menor do que a taxa de desconto requerida pelo risco do novo negócio. Portanto, o investimento não atinge a remuneração esperada pelo candidato a empreendedor, pelos empreendedores e pelos investidores. Nessas condições, o aconselhável é não realizar o novo negócio.

2.6.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR é a taxa de juros que iguala o valor presente do fluxo de caixa ao investimento inicial. É a taxa que retorna o VPL igual a zero, Carmona (2009). Frezatti (2008) também define a TIR como a taxa que retorna o VPL igual a zero e complementa: ao se usar a TIR para tomar decisões de aceitação/rejeição, os critérios

garantem que a empresa receba, pelo menos, o retorno requerido. Tal resultado deve aumentar seu valor de mercado e, portanto, a riqueza de seus proprietários. Se a TIR for superior a TMA o investimento é considerável atrativo.

2.6.4 Payback

O payback determina o período no qual o investimento inicial de um empreendimento será recuperado. É utilizado para medir o risco inicial de um investimento e é um dos métodos mais simples a serem utilizados, Gitman (2010). O payback é o tempo estimado para que ocorra o retorno do investimento, Brito (2011).

A principal vantagem do método do payback é sua fácil aplicação e compreensão, demonstrando de maneira clara para o decisor o tempo que será necessário para recuperar o investimento inicial. No tocante as suas principais desvantagens, pode-se observar que o método ignora o valor do dinheiro no tempo e não considera a viabilidade do investimento após o período predefinido pelo decisor, Assaf Neto, (2012b); Gitman, (2010).

Uma maneira de contornar parte das desvantagens do método é a utilização do payback descontado, pelo qual se aplica uma taxa no período para considerar o valor do dinheiro no tempo. Esta taxa é definida pelo decisor e, muitas vezes, é utilizado o custo de capital ou a TMA.

2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nessa seção foram abordados a contextualização do cenário mundial dos sistemas fotovoltaicos, os sistemas fotovoltaicos e seus principais componentes e os indicadores de viabilidade econômica utilizados para esse estudo.

Com essas informações se faz possível dimensionar o sistema para o objeto de estudo deste trabalho e verificar sua viabilidade econômica.

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Essa pesquisa se caracteriza como um estudo de caso, cuja abordagem se concentra, prioritariamente, em levantamento e análise de dados quantitativos. Trata-se de uma pesquisa exploratória, uma vez que busca identificar soluções e adquirir mais familiaridade com o fenômeno de interesse. Como estudo de caso, propõe-se a reunir informações detalhadas e sistemáticas sobre um fenômeno, como afirmado por Yin (2005).

De acordo Yin (2005), o estudo de caso se centra na dinâmica de um contexto real, envolvendo uma investigação empírica, descritiva, com foco mais profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento. Tais pesquisas permitem descrições de fenômenos, testes de teorias existentes ou o desenvolvimento de uma nova teoria.

Na presente investigação os dados utilizados foram retirados do histórico de consumo energético da empresa estudada e as características construtivas de sua sede e em pesquisas de mercado para quantificação dos investimentos.

3.2 OBJETO DE ANÁLISE

A indústria selecionada para o estudo de caso desta pesquisa denomina-se como Dynamox e está localizada na Grande Florianópolis. A Dynamox produz Dataloggers e Gateways para o monitoramento de máquinas industriais em sistemas de manutenção preditiva.

A empresa está sediada no bairro João Paulo, na cidade de Florianópolis/SC e possui uma área construída de 750 m² e cerca de 180 funcionários trabalhando na sede. Além da sede em Florianópolis/SC, a Dynamox possui filiais em Minas Gerais e no Pará. Essas filiais têm, respectivamente, cerca de 35 e 15 funcionários.

O estudo de caso se deteve ao consumo de energia da sede da empresa no ano de 2022. O consumo médio de energia neste ano foi de 7.529,35 kWh. A empresa almeja que o sistema instalado tenha capacidade suficiente para suprir o consumo atual de energia.

Para os anos subsequentes, foi considerado um aumento do consumo de energia pela empresa em 5% ao ano em função da previsão de seu crescimento, tanto

em relação ao número de funcionários, como no aumento de sua capacidade produtiva.

A Figura 13 apresenta o telhado da empresa Dynamox:

Figura 13 - Vista aérea Dynamox



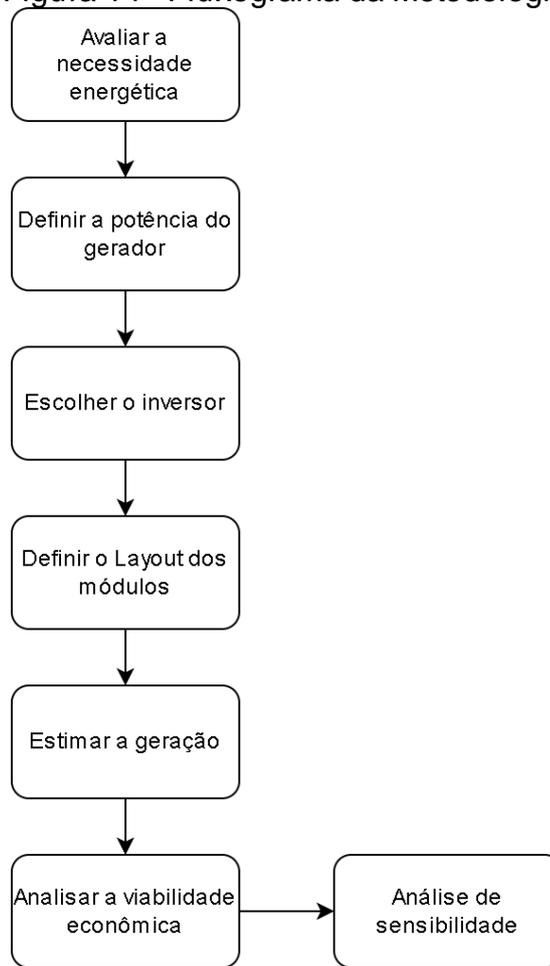
Fonte: Google Maps, 2022.

É possível observar que o prédio estilo galpão possui um telhado com ampla estrutura metálica, com dimensões de 20,00m x 33,00m, e resistente para suportar o peso dos módulos fotovoltaicos.

3.3 PROCEDIMENTO UTILIZADO

O procedimento para a análise da viabilidade econômica do SFV da empresa está representado na Figura 14.

Figura 14 - Fluxograma da Metodologia



Fonte: Autor, 2023

Com base no consumo energético da empresa em 2022 e na incidência solar do local foi calculada a potência necessária do gerador. A partir da potência do gerador foram definidos os principais componentes do sistema: células fotovoltaicas e inversor. Por conseguinte, definiu-se o layout destes componentes e realizou-se uma estimativa da geração de energia solar. Finalmente, com uma previsão da quantidade de energia que esse sistema pode gerar, foi feita a análise de viabilidade econômica. As próximas seções apresentam cada etapa deste processo.

3.3.1 Avaliar a necessidade energética

Para dimensionar a potência necessária do gerador foram utilizados os dados do consumo de energia da empresa entre os meses de janeiro e dezembro de 2022. A partir dos dados, foi calculada uma média do consumo desses meses para se obter o consumo médio anual da empresa.

3.3.2 Definir a potência do gerador

Para calcular a potência do gerador utilizou-se a equação 01, o consumo médio referente a etapa de dimensionamento e a irradiação solar na posição da empresa.

O Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017) serviu de fonte para os dados de irradiação solar.

Uma vez identificada a potência de gerador necessária, foi possível definir a quantidade de módulos fotovoltaicos que serão utilizados no sistema, dividindo a potência do gerador pela potência do módulo escolhido.

3.3.3 Escolher o inversor

A escolha do inversor foi feita a partir das características técnicas dos módulos e da potência total do sistema. Com estas informações, houve preferência por um inversor com potência similar à capacidade de geração dos módulos e, assim, obteve-se o fator de dimensionamento do inversor (FDI) próximo de 100%.

3.3.4 Definir o Layout dos módulos

O Layout foi definido de acordo com o espaço físico da instalação, número de painéis e características do inversor. É recomendado utilizar todas as entradas disponíveis do inversor de modo a maximizar a sua eficiência.

Ao definir o layout, foi essencial considerar os parâmetros de saída dos painéis fotovoltaicos e os de operação do inversor.

3.3.5 Estimar a geração

A Micro e Minigeração Distribuída (MMGD) vem crescendo significativamente no Brasil. Como as distribuidoras de energia não possuem a informação de quanto cada Unidade Consumidora (UC) gerou, foi necessária uma estimativa dessa geração, buscando a visualização de dados mais fidedignos nos estudos elétricos. Os estudos elétricos de rede de simulação são realizados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) para a avaliação das solicitações de acesso à rede básica, a elaboração de proposta de ampliações e reforços desta rede, a elaboração de estudos de planejamento e programação da operação elétrica, de estudos pré-operacionais, de comissionamento e de proteção, bem como para operação e análise da operação elétrica. O ONS faz esta estimativa com base na Equação 03:

$$G(h) = FC * P_{FV} * R(h) \quad (3)$$

Fonte: ONS, 2022

FC: fator de capacidade (0,75).

P_{FV}: potência instalada, em kW.

R(h): radiação em kW/m², na hora h do dia a ser considerado.

3.3.6 Analisar a viabilidade econômica

Para a análise de viabilidade econômica, foi necessário obter uma definição dos seguintes critérios:

- Investimento inicial: Qual o valor necessário para instalar o SFV, incluindo mão de obra de instalação, painéis solares, cabeamento, suportes e inversor.
- Despesas: Qual o custo mensal de Operação e Manutenção (O&M) do SFV.
- Receitas: Qual o valor gerado mensalmente pelo SFV. Para as análises deste trabalho, foi utilizado como receita o valor da economia obtida na conta de energia elétrica.
- Horizonte: Foi definido um horizonte de 30 anos, que é a vida útil dos painéis solares.
- Taxa Mínima de Atratividade (TMA): Foi utilizado a TMA no mesmo valor da taxa SELIC, de 13.8% ao ano.

Além dos parâmetros mencionados anteriormente, também foi considerado um aumento médio anual de 5,78 % nas faturas de energia elétrica e nos custos de O&M (com base na inflação).

A degradação dos painéis foi considerada para os cálculos da energia gerada (3% no primeiro ano, e 0,9% nos anos seguintes), assim como um aumento gradativo do consumo em função do crescimento da empresa (5% anual), tendo em vista a tarifa de 0,730544 R\$ / kWh.

Para o cálculo das receitas, foi feito um comparativo entre duas simulações de fatura de energia, com o SFV e sem o SFV.

Na fatura com o SFV foram considerados os créditos referentes a energia gerada (valor da energia gerada menos o valor da energia consumida). Quando esses créditos forem maiores do que zero, significa que o sistema gerou mais energia do que foi consumido, resultando em uma fatura sem custo.

Quando os créditos forem negativos, significa que foi consumido mais energia do que gerado, assim resultando em uma cobrança que é igual a essa diferença (energia consumida menos energia gerada igual a tarifa).

3.3.7 Análise de sensibilidade

Nesta seção, foram estudados três diferentes cenários com mudanças em variáveis que podem afetar o resultado do trabalho.

Os cenários analisados foram os seguintes:

- Variação no consumo.
- Variação nas despesas de operação e manutenção.
- Aproveitamento dos Créditos.

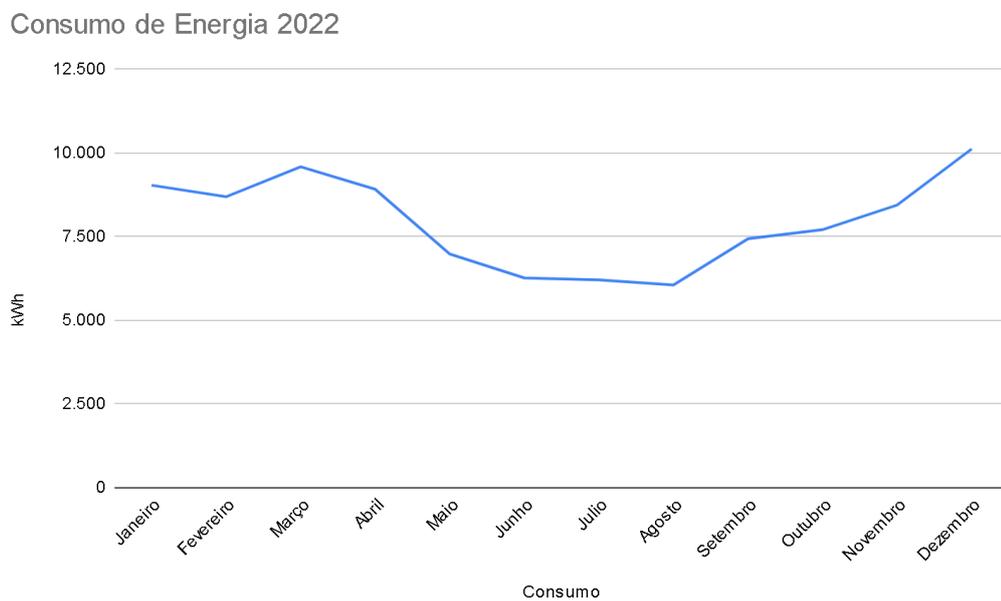
Estes cenários foram escolhidos com base na realidade da empresa e do panorama atual da energia fotovoltaica.

4 RESULTADOS

4.1 AVALIAR A NECESSIDADE ENERGÉTICA

Considerando que pesquisas iniciais revelaram que a área disponível, 660 m², é mais que o suficiente para a geração da potência necessária, a principal premissa para o dimensionamento é definir qual a necessidade energética da edificação. Na figura 15, apresenta-se o consumo mensal da empresa durante o ano de 2022.

Figura 15 - consumo mensal de 2022



Fonte: Autor, 2022.

Ao calcular a média do consumo dos 12 meses do ano de 2022, obtém-se o consumo médio mensal de 7.529 kWh (o APÊNDICE A apresenta a previsão das faturas no decorrer dos anos).

4.2 DEFINIR A POTÊNCIA DO GERADOR

Conforme o tópico anterior, a potência necessária para o gerador é de 7.529 kWh por mês. Avalia-se, então, a incidência solar no local de instalação.

Os painéis serão instalados nas coordenadas -27.54 (latitude) e -48.51 (longitude), aproximadamente. De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), tem-se:

Tabela 1 - Irradiação Solar

Dados de irradiação horizontal para o Estado de SANTA CATARINA (kWh/m2)			
ID	LON	LAT	ANNUAL
2957	-48.549	-27.6005	4,25
3022	-48.549	-27.5005	4,24
Média			4,24

Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2017

Substituindo os valores na equação 01, obtém-se a seguinte potência do gerador:

$$P_{fv}(W_p) = \frac{\left(\frac{E}{TD}\right)}{HSP_{MA}}$$

Onde

PFV (Wp) = 78,92 kWp

E (Wh/dia) = 250.96 Wh/dia

TD (adimensional) = 0,75

HSPMA (h) = 4,24 kWh/m2

Com a equação acima é possível concluir que a potência de pico do gerador deve ser de 78,92 kWp. Em posse dessa informação é possível definir quantidade necessária de módulos fotovoltaicos, basta dividir a potencia de pico do gerador pela potência do módulo escolhido.

O módulo fotovoltaico a ser utilizado foi escolhido a partir da potência necessária do gerador, definida acima. A pesquisa de mercado evidenciou pouca variação no preço dos módulos de alta capacidade (acima de 330 W). A Tabela 2 apresenta os dados dos modelos dos módulos levantados na pesquisa para a futura instalação dos geradores fotovoltaicos na empresa.

Tabela 2 - Modelos de módulos fotovoltaicos levantados em pesquisa de mercado

Modelo - Marca	Potência (Wh)	Preço (R\$)	Preço por Wp (R\$)
Painel Solar 555W Monocristalino Half-Cell Sunova - SS-555- 72MDH	555	1.263,87	2,27

Painel Solar 550w Monocristalino Halfcell Osda Solar - ODA550-36V-MHD	550	1.208,07	2,19
Painel Solar Canadian 550w Cs6w-550ms 144 Celulas Half-Cell Monocristalino 30mm - Canadian	550	1.270,48	2,30

Fonte: Autor, 2022.

Foi escolhido o módulo “ODA550-36V-MHD”, do fabricante Osda, com potência de 550 W, pois este apresentou o melhor custo-benefício, considerando que a outra opção exigiria um maior custo de instalação em função da maior quantidade de painéis. A folha de dados completa do módulo escolhido se encontra no ANEXO A - Folha de dados do módulo ODA550-36V-MH.

Definido o modelo de painel solar, foi possível calcular a quantidade de módulos necessários:

$$78,92 / 0,55 = 143,49$$

Sendo assim, são necessários 144 módulos, totalizando 79,2 kWp como potência de pico do SFV.

4.3 ESCOLHER O INVERSOR

O inversor ideal para essa aplicação deve ter uma potência nominal de 80 kWh, para, assim, conseguir um FDI próximo de 101%.

Foram contemplados os seguintes modelos de inversores:

Tabela 3 - Modelos de Inversores

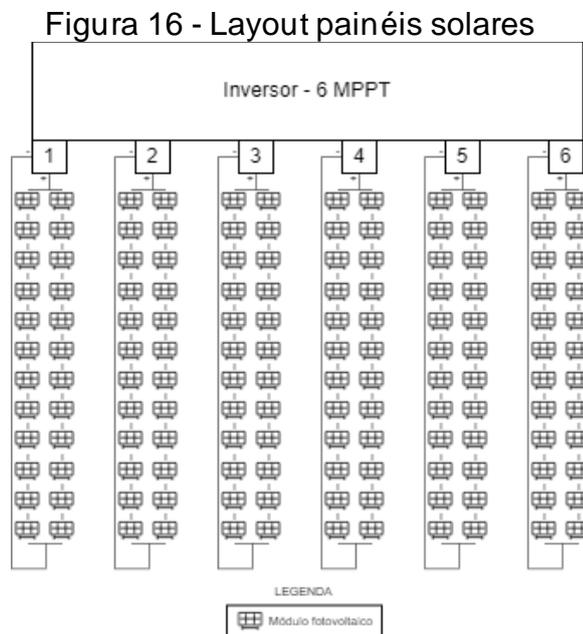
Inversores		
Modelo - Marca	Potência (kWh)	Preço (R\$)
Inversor Fotovoltaico 80kw 3x380V Sofar - 80KTLX-G3	80	25.608,60
Inversor Solar Solis 80kW - 75K-5G - Solis-80K-5G	80	35.293,50
Inversor Belenergy Plus 80kW Trif 380V	80	28.395,90

Fonte: Autor, 2022.

O inversor escolhido foi o modelo “80KTLX-G3” da marca Sofar, com valor mais baixo na pesquisa de mercado. A folha de dados completa do inversor está disponível no ANEXO B - Folha de dados do inversor SOFAR 80KTLX-G3.

4.4 DEFINIR O LAYOUT DOS MÓDULOS

O inversor escolhido possui 6 MPPTs disponíveis, dividiram-se os módulos em 6 linhas, cada uma composta por dois conjuntos em paralelo de 12 módulos em série, conforme a Figura 16:



Fonte: Autor, 2023.

Esse layout garante que os parâmetros de entrada do inversor sejam respeitados. Com a configuração indicada na Figura 16, garantiu-se a compatibilidade entre as correntes e tensões dos módulos e do inversor, conforme a Tabela 4:

Tabela 4 - Parâmetros do layout dos painéis

Linha	Voc	Vmp	Tensão operacional MPPT	Isc (linha)	Imp (linha)	I max Entrada MPPT	Isc MPPT
24 Módulos (12 paralelo com 12)	601,2 V	505,20 V	620,00 V	29,12 A	27,20 A	40,00 A	60,00 A

Fonte - Autor, 2022.

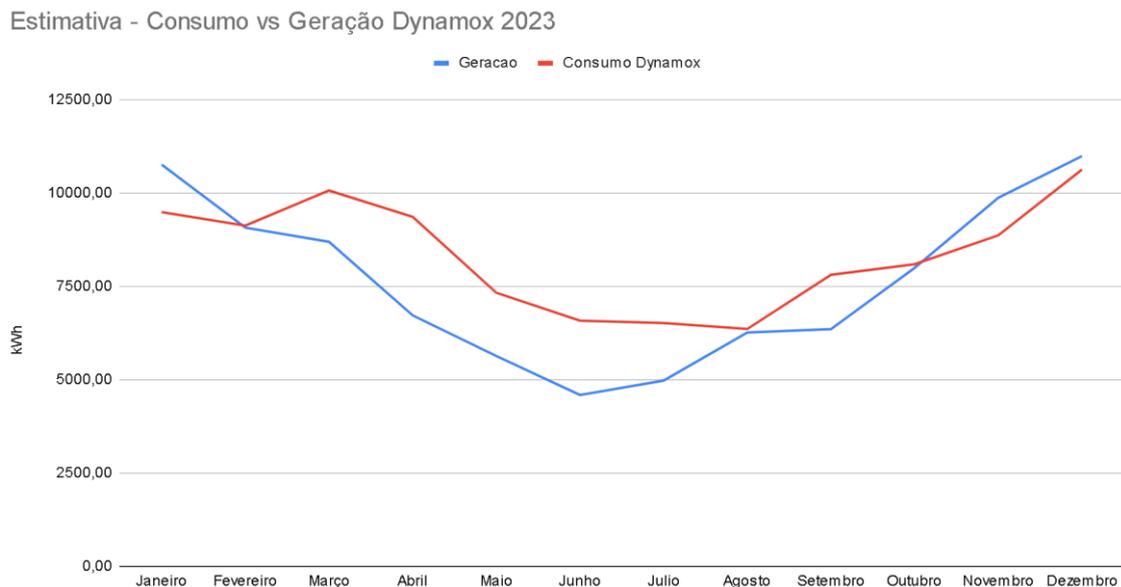
Na Tabela 4, fica evidenciado que o layout escolhido respeita os parâmetros do layout determinado, já que a tensão de operação do layout pode variar entre 601,2V e 505,2V, e o inversor suporta um máximo de 620V. A mesma conclusão é válida para as correntes, onde o inversor pode operar com uma corrente de curto máxima de 60 A e uma corrente de entrada de 40 A, sendo que o layout escolhido possui uma corrente de curto de 29,12 A e corrente de entrada de 27,2 A.

4.5 ESTIMAR A GERAÇÃO

A estimativa de geração solar foi calculada utilizando a equação 03. Esse cálculo pode ser visto em detalhes no APÊNDICE B, considerando a degradação dos painéis.

Na Figura 17, apresenta-se o gráfico de estimativa de consumo e geração de energia durante o ano de 2023.

Figura 17 - Estimativa - Consumo vs Geração para o ano de 2023

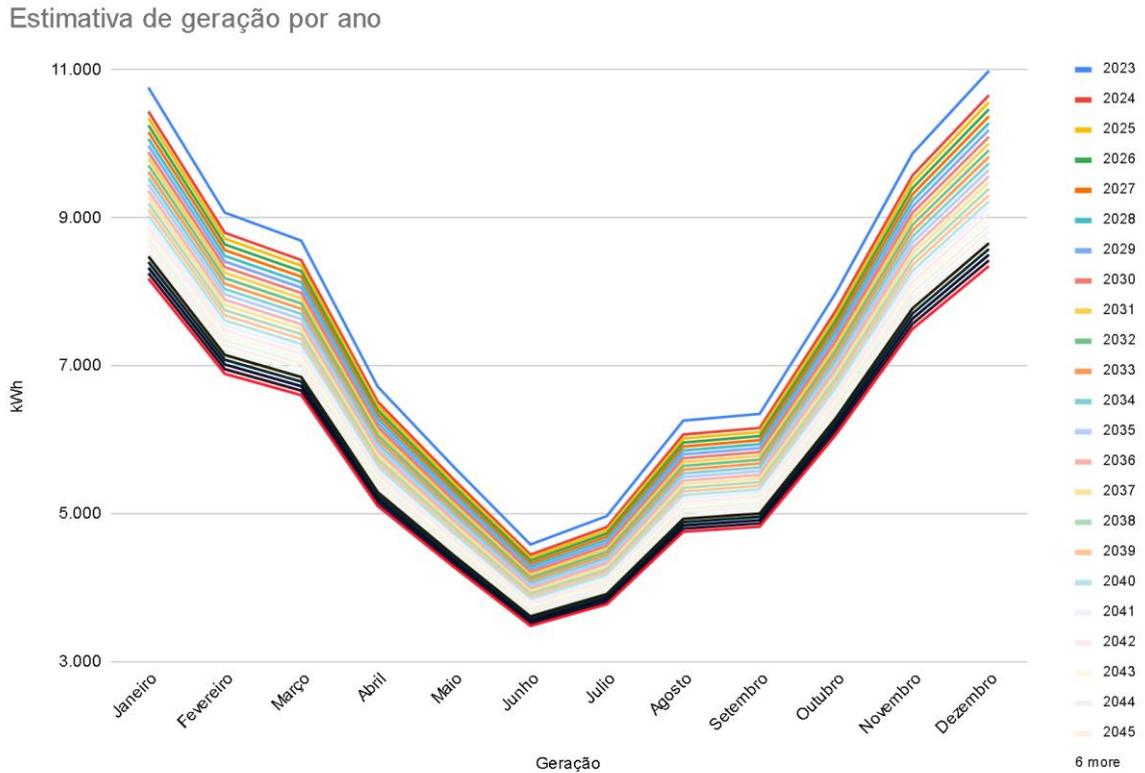


Fonte: Autor, 2022.

Na figura 17, é possível verificar que tanto o consumo, como a geração de energia têm grande sazonalidade. Durante o ano, os painéis geram um excedente de energia durante os meses de verão, e no resto do ano o consumo é superior à energia gerada.

A Figura 18 apresenta a estimativa de energia gerada durante toda a vida útil dos painéis.

Figura 18 - Estimativa de geração de energia por ano

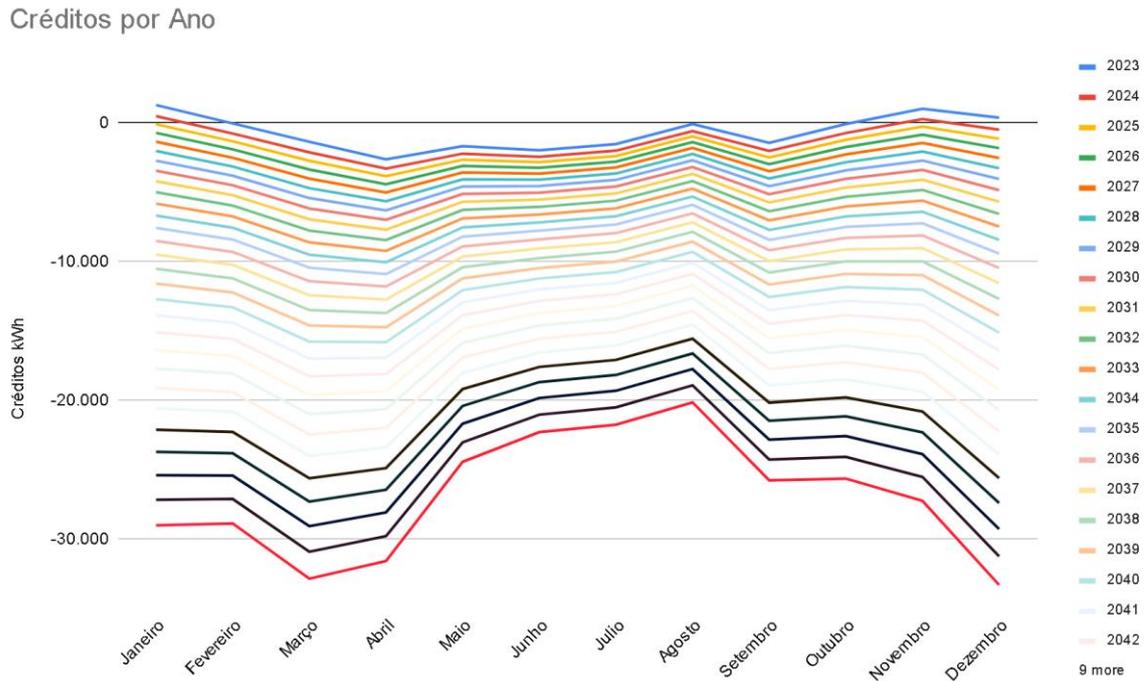


Fonte: Autor, 2022.

É possível perceber que a degradação dos painéis tem grande impacto na energia gerada. Os dados detalhados dessa figura estão disponíveis respectivamente no APÊNDICE B.

Na figura 19, apresenta-se a estimativa de créditos de energia gerados pelo SFV, considerando tanto a degradação dos painéis, quanto o aumento do consumo da empresa.

Figura 19 - Créditos de energia gerados pelo SFV



Fonte - Autor, 2022.

Evidencia-se a diminuição dos créditos de energia com o passar do tempo, visto que a empresa tende a aumentar o seu consumo ao passo que a energia gerada tende a diminuir. Os dados detalhados desta figura estão disponíveis no APÊNDICE C.

4.6 ANALISAR A VIABILIDADE ECONÔMICA

4.6.1 Investimentos

Na Tabela 5, é possível observar o resumo dos investimentos necessários para instalação do SFV. Os valores foram obtidos em cotações com diversos fornecedores locais e na internet.

Tabela 5 - Investimentos necessários para a instalação do SFV

Descrição	Quantidade	Preço Unitário	Total
Painel Solar 550w Monocristalino Halfcell Osda Solar - ODA550-36V-MHD	144	R\$ 1.208,07	R\$ 173.962,08
Inversor 80KTLX-G3 - Sofar	1	R\$ 25.608,60	R\$ 25.608,60
Cabo solar vermelho 1kvca 4mm	500	R\$ 3,45	R\$ 1.726,85
Cabo solar preto 1kvca 4mm	500	R\$ 3,45	R\$ 1.726,85
Estrutura	36	R\$ 560,00	R\$ 20.160,00
Serviço de Instalação	1	R\$ 67.217,63	R\$ 67.217,63
Total			R\$ 290.402,01

Fonte – Autor, 2022.

O valor total de investimentos necessários, considerando painéis, inversor, cabos, estrutura e serviço de instalação é de R\$290.402,01 reais.

4.6.2 Operação e Manutenção

Os custos de operações e manutenção de sistemas fotovoltaicos são baixos, porém existentes. A principal operação de manutenção do sistema é a limpeza dos painéis. Essa deve ocorrer uma vez ao ano na maior parte de lugares, ou a cada 6 meses em locais com pouca incidência de chuva.

Foi considerado um custo mensal de R\$ 150,00 para esse serviço. Esse valor é decorrente de uma pesquisa de mercado feita localmente com prestadores de serviços e foi corrigido anualmente pela inflação. Essa estimativa completa se encontra no APÊNDICE C

4.6.3 Receita

Para a análise de viabilidade de um investimento são necessárias as informações de receita e custos desse investimento. Neste projeto as receitas consideradas foram as economias nas faturas de energia devido a instalação do sistema fotovoltaico.

Para mensurar o valor de economia a cada mês, foram realizadas três estimativas. Primeiramente considerou-se o APÊNDICE D, de créditos de energia gerados. Quando o valor desses créditos é positivo, significa que o SFV gerou mais energia do que foi consumido, resultando em uma fatura de valor zero. Se o valor é

negativo, demonstra que a unidade consumidora consumiu mais do que gerou, sendo que o valor consumido é o valor negativo dos créditos.

Considerando o explanado no parágrafo anterior, foi calculada uma estimativa de fatura com o SFV, APÊNDICE E, sendo então multiplicado o valor dos créditos pela tarifa de energia elétrica de R\$ 0,730544, corrigida por uma inflação anual de 5,78%.

Também foi calculado com base na estimativa de consumo da empresa uma previsão de faturas sem o SFV instalado, representado no APÊNDICE F.

Finalmente, as receitas deste investimento são iguais a diferença entre as faturas sem o SFV e com ele. Esse valor pode ser conferido no APÊNDICE G.

4.6.4 Fluxo de Caixa

O fluxo de caixa é calculado considerando as receitas menos as despesas do investimento. As economias foram consideradas como entradas no fluxo de caixa, e as despesas e o investimento inicial como saídas.

O resultado desse fluxo de caixa está descrito no APÊNDICE H.

4.6.5 Indicadores obtidos

O VPL foi calculado utilizando uma TMA de 13,8% ao ano e o fluxo de caixa apresentado no capítulo anterior. Foi obtido um VPL de R\$ 426,786.69. Assim sendo, o projeto é economicamente viável.

Para o cálculo da TIR foi utilizado o mesmo fluxo de caixa que o VPL. A taxa encontrada foi de 27,68% ao ano, superior a zero e a TMA (13,8%). Dessa forma, sugere-se que o projeto é viável e atrativo.

Já o payback simples foi calculado observando-se o fluxo de caixa sem considerar nenhuma taxa de retorno. O tempo de payback simples é de 5 anos. Esse cálculo está representado na Tabela 6:

Tabela 6 - Tempo de Payback

Ano	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Acumulado
Investimento Inicial	-290.402	-R\$ 290.402,00
2023	66.474	-R\$ 223.927,74
2024	69.585	-R\$ 154.342,75
2025	73.524	-R\$ 80.818,96
2026	77.009	-R\$ 3.809,68

2027	80.657	R\$ 76.847,33
------	--------	---------------

Fonte: Autor, 2023.

De acordo com a tabela 6, o valor do fluxo de caixa fica positivo no ano de 2027. Ou seja, em 5 anos após o investimento inicial.

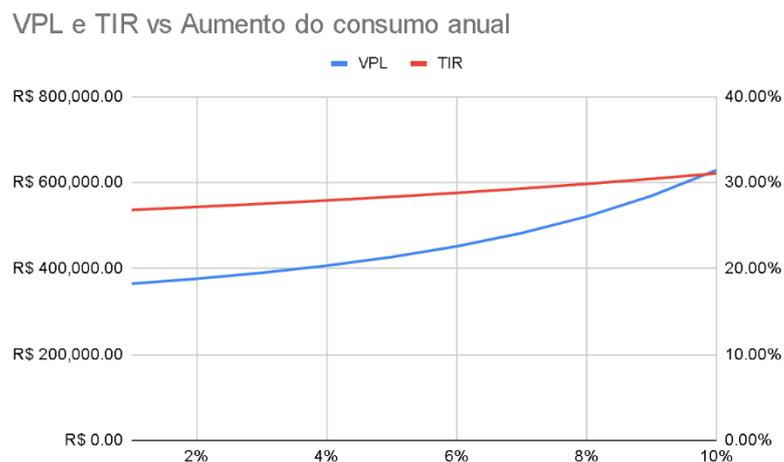
Com base nos três indicadores utilizados (VPL, TIR e payback simples) o investimento se mostra viável e atrativo.

4.7 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

4.7.1 Variação no consumo

Nesta seção, foram simulados cenários onde o consumo anual da empresa aumenta entre 1 e 10% ao ano, diferente dos 5% considerados originalmente. Os resultados dessa análise estão representados na Figura 20

Figura 20 - VPL e TIR vs Aumento anual no consumo



Fonte: Autor, 2023

Na figura acima, pode-se observar que tanto a VPL quanto a TIR tendem a aumentar à medida que o consumo de energia da empresa aumenta, demonstrando que, quanto maior o consumo da empresa, mais atrativo é o investimento.

O tempo de payback permaneceu o mesmo (5 anos) em toda a análise.

4.7.2 Variação nas despesas de operação e manutenção

Neste cenário, foi considerada uma variação grande nas despesas de operação e manutenção. Nesta hipótese, considerou-se a necessidade de troca do inversor no décimo ano do investimento. Essa troca implica em um gasto adicional de R\$

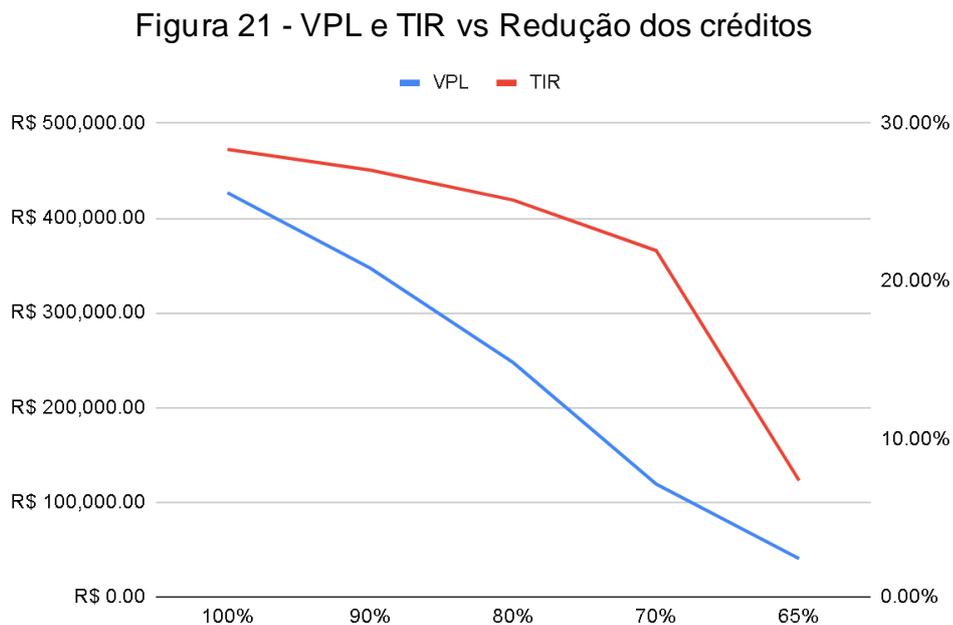
44.918,11 no ano de 2032. Além disso, os custos mensais de O&M foram ajustados para R\$ 250,00 por mês.

Com estas alterações, o tempo de payback permaneceu o mesmo e o VPL e TIR foram, respectivamente, de R\$ 355.053,63 e 26,85%.

Portanto, conclui-se que, mesmo considerando-se um aumento considerável nos custos de O&M, o investimento continua sendo viável.

4.7.3 Aproveitamento dos Créditos

Nesse cenário, foi considerado que a empresa só poderá aproveitar parcialmente os créditos gerados pelo SFV. Esta hipótese pode vir a ocorrer em função de alterações repentinas na legislação. Para isso, considerou-se um aproveitamento de 90%, 80%, 70% e 65% dos créditos de energia gerados. O resultado dessa análise pode ser visto na Figura 21.



Fonte: Autor, 2023

Na figura 21, pode-se observar que a viabilidade desse investimento depende muito de como a legislação dispõe sobre a integração de SFV com a rede. É possível visualizar que, com o aproveitamento em 65%, o investimento não é mais viável em função da TIR estar abaixo da TMA.

5 CONCLUSÃO

Com este trabalho, foi possível verificar a viabilidade de um sistema fotovoltaico para suprir a demanda de energia atual da sede da empresa Dynamox.

Para se obter esta conclusão, foram levantadas as necessidades energéticas da empresa e, também, o cenário atual do mercado de sistemas fotovoltaicos. De posse dessas informações, foi possível especificar os investimentos, custos, receitas previstas do projeto e, finalmente, aplicar indicadores de viabilidade econômica para o sistema.

Os indicadores utilizados (VPL, TIR e Payback) apontam como viável e vantajosa a instalação do SFV nas dependências da sede da empresa localizada na cidade de Florianópolis/SC. O SFV tem potencial de reduzir consideravelmente os custos operacionais da Dynamox, além de fazer com que a empresa se torne mais ecologicamente sustentável. O investimento continuou a se mostrar viável mesmo em cenários pessimistas com mudanças no consumo e despesas com O&M. Ainda na análise de cenários, percebeu-se que a viabilidade do investimento está intimamente relacionada às legislações que regulam a energia fotovoltaica.

Considerando-se todos os pontos citados, este trabalho cumpriu com o seu objetivo de analisar a viabilidade da instalação de um sistema fotovoltaico na Dynamox.

É importante ressaltar que, por mais que este trabalho tenha sido elaborado com dados reais, buscando ao máximo se aproximar de situações práticas, variáveis adicionais podem ser consideradas em trabalhos futuros. Por exemplo, uma possível troca de um inversor poderia aumentar em alguns anos o tempo de Payback, pois é uma das partes mais caras do sistema. Outro ponto a ser considerado são danos ao sistema devido a temporais e outros fenômenos climáticos. Aliás, deve-se considerar, ainda, que a geração de energia e, por sua vez, a viabilidade do projeto, está diretamente relacionada ao clima e à irradiação solar.

Desta maneira, e tendo em vista que se trata de um estudo de caso, com características específicas de aplicação, os seus resultados não podem ser generalizados diretamente para outras empresas. Os dados para o estudo devem ser coletados de acordo com o caso avaliado, suas particularidades e especificidades.

Além disso, o objetivo deste trabalho não foi realizar uma pesquisa exaustiva de todas as soluções disponíveis no mercado. As escolhas de materiais e equipamentos contemplados foram realizadas com base na pesquisa de mercado

realizada no momento do estudo. Como os custos e disponibilidade destes materiais são voláteis, uma nova pesquisa deve ser levada a efeito em futuras aplicações.

Como principal oportunidade de melhoria desse trabalho e ampliação dos seus resultados, sugere-se um estudo mais detalhado do cenário de consumo energético da empresa e das previsões para o futuro com relação ao consumo e ao crescimento da Dynamox. A empresa possui outras unidades consumidoras na Grande Florianópolis, em outras cidades e estados. Desta forma, uma análise mais global do consumo energético pode justificar a instalação de uma capacidade maior e fazer com que o impacto do projeto seja ainda mais vantajoso.

REFERÊNCIAS

ANEL, 2023

Áreas e Subáreas de Engenharia de Produção, ABEPRO, 2017, disponível em:

<https://www.abepro.org.br/interna.asp?c=362#:~:text=As%20sub%C3%A1reas%20do%20conhecimento%20relacionadas,s%C3%A3o%20as%20relacionadas%20a%20>

seguir.&text=Projetos%2C%20opera%C3%A7%C3%B5es%20e%20melhorias%20dos,ou%20servi%C3%A7os)%20prim%C3%A1rios%20da%20empresa, acessado 01/10/2023.

ASSAF NETO, Alexandre. Matemática financeira e suas aplicações. 12. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2017

Balanco Energético Nacional, EPE, 2023, disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>, acessado 19/09/2023

BENDER, L. V.; LEITZKE, R. K.; FREITAS, J. R. de; CUNHA, E. G. da; SALAMONI, I. T. Estudo da paridade Econômica e do desempenho energético de fachadas solares fotovoltaicas no extremo sul do Brasil. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 489-508, out./dez. 2020.

BRITO, Paulo. Análise e viabilidade de projetos de investimentos. 2 ed. São Paulo/SP: Atlas, 2011.

CARMONA, Ulises de Montreuil. Finanças Corporativas e Mercados. São Paulo: Atlas, 2009.

CASAROTTO FILHO, Nelson; KOPITKE, Bruno Hartmut. Análise de Investimentos: Matemática Financeira, Engenharia Econômica, Tomada de Decisão, Estratégia Empresarial. 11. ed. São Paulo. Atlas, 2010.

DÁVI, Giovani Almeida. Avaliação do comportamento energético de um edifício residencial à energia neto positiva com sistema solar fotovoltaico conectado à rede (SFVCR). Florianópolis, 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

DEGEN, Ronald Jean. O empreendedor: empreender como opção de carreira. São Paulo: Pearson, (2008)

ECHEGARAY, F. Understanding stakeholders' views and support for solar energy in Brazil. Journal of Cleaner Production, v. 63, p. 125-133, 2014

EPE. (2011). Anuário estatístico de energia elétrica 2011, 1, 244. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

EPE. (2012). Análise da inserção de Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira. Ministério de Minas e Energia. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Europe Solar Power. Global Market Outlook for Solar Power 2022–2026. (2021).

MORAIS, Fabrício Higo Monturil; SILVA, Osvaldo Augusto Vasconcelos de Oliveira Lopes; MORAES, Albemerc Moura; BARBOSA, Fábio Rocha. Influência da Irradiação Solar na Análise de Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 36, n. 4, 723, 2021. Disponível em scielo.br/j/rbmet/a/RcxGfZVFzQYfdNxxhLGLc6Bp/?format=pdf&lang=pt, acesso 25/09/2023.

FELDMAN, D., et al. US solar photovoltaic system and energy storage cost benchmark (Q1 2020) (No. NREL/TP-6A20-77324). National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States). (2021).

FRANCO, Arthur Portilho. Sistemas fotovoltaicos: contextualização e perspectivas para sua massificação no Brasil. Lavras, 2013. Trabalho de conclusão de curso (curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Formas Alternativas de Energia) - Pós-Graduação em Formas Alternativas de Energia, Lavras, 2013.

FREZATTI, Fábio. Gestão da viabilidade econômico-financeira dos projetos de investimento. São Paulo: Atlas, 2008.

GITMAN, Lawrence Jeffrey. Princípios de administração financeira. 12. ed. São Paulo: Pearson Practice Hall, 2010.

HALLER, Daniele. “Como a Alemanha se tornou um dos maiores produtores de energia solar?”, 2021. Acessado: 19/01/2022. [Online]. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/alemanha-um-dos-maiores-produtores-de-energia-solar-do-mundo/>.

HIRSCHFELD, Henrique. Engenharia econômica e análise de custos: aplicações práticas para economistas, engenheiros, analistas de investimentos e administradores. 7 ed. São Paulo/SP: Atlas, 2007.

KASSAI, José; CASA NOVA, Silvia Pereira de Castro; SANTOS, Ariovaldo dos; ASSAF NETO, Alexandre. Retorno de investimento. Abordagem matemática e contábil do lucro empresarial. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

SHAREENERGY, Marília Beccari. Lei 14300: Tudo o que você precisa saber, Disponível em: <https://www.shareenergy.com.br/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-a-lei-14300/>, acessado 05/05/2023.

Matriz Energética e Elétrica, EPE, 2023, disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>, acessado 20/09/2023.

MEGLIORINI, Evandir; VALLIM, Marco Aurélio. Administração financeira: uma abordagem brasileira. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

PEHL, Michaja; ARVESEN, Anders; HUMPENÖDER, Florian; POPP, Alexander; HERTWICH, Edgar; LUDERER, Gunnar. "Understanding future emissions from low-carbon power systems by integration of life-cycle assessment and integrated energy modelling." *Nature Energy* 2.12 (2017): 939-945.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CEPEL - CRESESB, 2014

RASOTO, Armando; et al. Gestão financeira: enfoque em inovação. Curitiba: Aymarã Educação, 2012.

SANTOS, Edno Oliveira dos. Administração financeira da pequena e média empresa. São Paulo: Atlas, 2001.

SOUZA, Alceu; CLEMENTE Ademir. Decisões financeiras e análise de investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

STATISTA. Cumulative installed capacity of solar photovoltaic systems in Germany from 2000 to 2021. Acessado: 10/04/2023. [Online]. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/1331316/photovoltaic-system-installed-capacity-germany/>. (2021).

YIN. Robert K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005

APÊNDICE A - ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA POR ANO

Consumo por Ano (kWh), considerando aumento anual de 5% no consumo												
Consumo	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2023	9.484	9.122	10.064	9.357	7.323	6.575	6.512	6.353	7.804	8.089	8.862	10.624

2024	9.958	9.578	10.567	9.825	7.689	6.904	6.838	6.670	8.194	8.493	9.305	11.155
2025	10.456	10.057	11.096	10.316	8.074	7.249	7.180	7.004	8.604	8.918	9.770	11.713
2026	10.979	10.560	11.651	10.832	8.478	7.612	7.539	7.354	9.034	9.364	10.258	12.298
2027	11.528	11.088	12.233	11.374	8.901	7.992	7.916	7.722	9.485	9.832	10.771	12.913
2028	12.104	11.643	12.845	11.942	9.346	8.392	8.312	8.108	9.960	10.324	11.310	13.559
2029	12.709	12.225	13.487	12.539	9.814	8.811	8.727	8.513	10.458	10.840	11.875	14.237
2030	13.345	12.836	14.161	13.166	10.305	9.252	9.164	8.939	10.981	11.382	12.469	14.949
2031	14.012	13.478	14.869	13.825	10.820	9.715	9.622	9.386	11.530	11.951	13.093	15.696
2032	14.713	14.152	15.613	14.516	11.361	10.200	10.103	9.855	12.106	12.549	13.747	16.481
2033	15.448	14.859	16.393	15.242	11.929	10.710	10.608	10.348	12.711	13.176	14.435	17.305
2034	16.221	15.602	17.213	16.004	12.525	11.246	11.138	10.865	13.347	13.835	15.156	18.170
2035	17.032	16.382	18.074	16.804	13.151	11.808	11.695	11.409	14.014	14.527	15.914	19.079
2036	17.884	17.201	18.977	17.644	13.809	12.399	12.280	11.979	14.715	15.253	16.710	20.033
2037	18.778	18.062	19.926	18.526	14.499	13.018	12.894	12.578	15.451	16.016	17.545	21.034
2038	19.717	18.965	20.923	19.453	15.224	13.669	13.539	13.207	16.223	16.816	18.423	22.086
2039	20.702	19.913	21.969	20.425	15.986	14.353	14.216	13.867	17.035	17.657	19.344	23.190
2040	21.738	20.908	23.067	21.447	16.785	15.070	14.927	14.561	17.886	18.540	20.311	24.350
2041	22.824	21.954	24.221	22.519	17.624	15.824	15.673	15.289	18.781	19.467	21.326	25.567
2042	23.966	23.052	25.432	23.645	18.505	16.615	16.457	16.053	19.720	20.440	22.393	26.846
2043	25.164	24.204	26.703	24.827	19.431	17.446	17.279	16.856	20.706	21.462	23.512	28.188
2044	26.422	25.414	28.038	26.068	20.402	18.318	18.143	17.698	21.741	22.536	24.688	29.597
2045	27.743	26.685	29.440	27.372	21.422	19.234	19.051	18.583	22.828	23.662	25.922	31.077
2046	29.130	28.019	30.912	28.740	22.493	20.196	20.003	19.512	23.969	24.846	27.219	32.631
2047	30.587	29.420	32.458	30.178	23.618	21.206	21.003	20.488	25.168	26.088	28.579	34.263
2048	32.116	30.891	34.081	31.686	24.799	22.266	22.053	21.513	26.426	27.392	30.008	35.976
2049	33.722	32.436	35.785	33.271	26.039	23.379	23.156	22.588	27.747	28.762	31.509	37.775
2050	35.408	34.058	37.574	34.934	27.341	24.548	24.314	23.718	29.135	30.200	33.084	39.663
2051	37.179	35.761	39.453	36.681	28.708	25.776	25.530	24.903	30.592	31.710	34.739	41.647
2052	39.038	37.549	41.425	38.515	30.143	27.064	26.806	26.149	32.121	33.295	36.475	43.729

APÊNDICE B - ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR ANO

Geração por ano - Considerada degradação dos painéis, 3% no primeiro ano e 0,9% nos anos seguintes												
Geração	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2023	10.758	9.069	8.689	6.717	5.628	4.584	4.969	6.258	6.349	7.991	9.868	10.986
2024	10.436	8.797	8.428	6.516	5.459	4.447	4.820	6.070	6.159	7.751	9.572	10.656

2026	187,80	187,80	187,80	187,80	187,80	187,80	187,80	187,80	187,80	187,80	187,80	187,80	4.279,65
2027	198,66	198,66	198,66	198,66	198,66	198,66	198,66	198,66	198,66	198,66	198,66	198,66	4.410,91
2028	210,14	210,14	210,14	210,14	210,14	210,14	210,14	210,14	210,14	210,14	210,14	210,14	4.549,70
2029	222,29	222,29	222,29	222,29	222,29	222,29	222,29	222,29	222,29	222,29	222,29	222,29	4.696,46
2030	235,14	235,14	235,14	235,14	235,14	235,14	235,14	235,14	235,14	235,14	235,14	235,14	4.851,64
2031	248,73	248,73	248,73	248,73	248,73	248,73	248,73	248,73	248,73	248,73	248,73	248,73	5.015,73
2032	263,10	263,10	263,10	263,10	263,10	263,10	263,10	263,10	263,10	263,10	263,10	263,10	5.189,24
2033	278,31	278,31	278,31	278,31	278,31	278,31	278,31	278,31	278,31	278,31	278,31	278,31	5.372,73
2034	294,40	294,40	294,40	294,40	294,40	294,40	294,40	294,40	294,40	294,40	294,40	294,40	5.566,77
2035	311,41	311,41	311,41	311,41	311,41	311,41	311,41	311,41	311,41	311,41	311,41	311,41	5.771,96
2036	329,41	329,41	329,41	329,41	329,41	329,41	329,41	329,41	329,41	329,41	329,41	329,41	5.988,96
2037	348,45	348,45	348,45	348,45	348,45	348,45	348,45	348,45	348,45	348,45	348,45	348,45	6.218,44
2038	368,59	368,59	368,59	368,59	368,59	368,59	368,59	368,59	368,59	368,59	368,59	368,59	6.461,13
2039	389,90	389,90	389,90	389,90	389,90	389,90	389,90	389,90	389,90	389,90	389,90	389,90	6.717,78
2040	412,43	412,43	412,43	412,43	412,43	412,43	412,43	412,43	412,43	412,43	412,43	412,43	6.989,22
2041	436,27	436,27	436,27	436,27	436,27	436,27	436,27	436,27	436,27	436,27	436,27	436,27	7.276,28
2042	461,49	461,49	461,49	461,49	461,49	461,49	461,49	461,49	461,49	461,49	461,49	461,49	7.579,88
2043	488,16	488,16	488,16	488,16	488,16	488,16	488,16	488,16	488,16	488,16	488,16	488,16	7.900,97
2044	516,38	516,38	516,38	516,38	516,38	516,38	516,38	516,38	516,38	516,38	516,38	516,38	8.240,56
2045	546,23	546,23	546,23	546,23	546,23	546,23	546,23	546,23	546,23	546,23	546,23	546,23	8.599,72
2046	577,80	577,80	577,80	577,80	577,80	577,80	577,80	577,80	577,80	577,80	577,80	577,80	8.979,59
2047	611,20	611,20	611,20	611,20	611,20	611,20	611,20	611,20	611,20	611,20	611,20	611,20	9.381,35
2048	646,52	646,52	646,52	646,52	646,52	646,52	646,52	646,52	646,52	646,52	646,52	646,52	9.806,27
2049	683,89	683,89	683,89	683,89	683,89	683,89	683,89	683,89	683,89	683,89	683,89	683,89	10.255,70
2050	723,42	723,42	723,42	723,42	723,42	723,42	723,42	723,42	723,42	723,42	723,42	723,42	10.731,05
2051	765,23	765,23	765,23	765,23	765,23	765,23	765,23	765,23	765,23	765,23	765,23	765,23	11.233,81
2052	809,47	809,47	809,47	809,47	809,47	809,47	809,47	809,47	809,47	809,47	809,47	809,47	11.765,58

APÊNDICE D – ESTIMATIVA DE CRÉDITOS DE ENERGIA ELÉTRICA

Créditos de energia (kWh) por mês, considerando aumento no consumo e degradação dos painéis												
Créditos	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2023	1.274	-54	-1.375	-2.640	-1.695	-1.991	-1.543	-95	-1.454	-98	1.006	362
2024	477	-782	-2.139	-3.309	-2.230	-2.457	-2.018	-600	-2.035	-742	267	-499
2025	-114	-1.340	-2.744	-3.859	-2.664	-2.843	-2.403	-988	-2.500	-1.237	-284	-1.152
2026	-730	-1.921	-3.374	-4.433	-3.116	-3.245	-2.805	-1.393	-2.985	-1.752	-858	-1.833

2027	-1.371	-2.527	-4.031	-5.032	-3.588	-3.665	-3.225	-1.814	-3.491	-2.289	-1.456	-2.542
2028	-2.039	-3.159	-4.716	-5.658	-4.081	-4.103	-3.663	-2.253	-4.020	-2.848	-2.078	-3.281
2029	-2.735	-3.817	-5.431	-6.312	-4.596	-4.561	-4.120	-2.711	-4.571	-3.432	-2.727	-4.052
2030	-3.460	-4.504	-6.178	-6.995	-5.133	-5.040	-4.598	-3.189	-5.147	-4.040	-3.403	-4.855
2031	-4.217	-5.221	-6.958	-7.709	-5.695	-5.541	-5.097	-3.688	-5.749	-4.675	-4.108	-5.693
2032	-5.005	-5.969	-7.773	-8.455	-6.282	-6.064	-5.619	-4.208	-6.377	-5.338	-4.843	-6.568
2033	-5.828	-6.750	-8.624	-9.235	-6.896	-6.611	-6.165	-4.752	-7.034	-6.031	-5.611	-7.482
2034	-6.687	-7.566	-9.514	-10.051	-7.538	-7.184	-6.735	-5.320	-7.721	-6.754	-6.412	-8.435
2035	-7.584	-8.418	-10.444	-10.905	-8.209	-7.782	-7.332	-5.913	-8.439	-7.509	-7.248	-9.431
2036	-8.521	-9.309	-11.416	-11.798	-8.911	-8.409	-7.956	-6.533	-9.189	-8.299	-8.122	-10.472
2037	-9.499	-10.240	-12.433	-12.733	-9.645	-9.065	-8.609	-7.181	-9.975	-9.124	-9.035	-11.560
2038	-10.522	-11.214	-13.497	-13.712	-10.414	-9.751	-9.292	-7.858	-10.797	-9.987	-9.989	-12.697
2039	-11.590	-12.232	-14.610	-14.736	-11.219	-10.470	-10.007	-8.567	-11.657	-10.889	-10.986	-13.886
2040	-12.707	-13.297	-15.774	-15.808	-12.061	-11.223	-10.756	-9.308	-12.557	-11.833	-12.028	-15.129
2041	-13.876	-14.411	-16.993	-16.931	-12.943	-12.011	-11.540	-10.083	-13.499	-12.820	-13.118	-16.429
2042	-15.097	-15.576	-18.269	-18.108	-13.866	-12.836	-12.360	-10.894	-14.486	-13.854	-14.258	-17.790
2043	-16.375	-16.796	-19.605	-19.340	-14.833	-13.701	-13.220	-11.743	-15.519	-14.935	-15.451	-19.214
2044	-17.713	-18.073	-21.004	-20.630	-15.846	-14.607	-14.121	-12.632	-16.601	-16.067	-16.700	-20.704
2045	-19.112	-19.410	-22.470	-21.983	-16.907	-15.556	-15.064	-13.563	-17.734	-17.252	-18.006	-22.264
2046	-20.577	-20.809	-24.004	-23.400	-18.019	-16.551	-16.052	-14.537	-18.921	-18.493	-19.373	-23.897
2047	-22.110	-22.275	-25.612	-24.885	-19.184	-17.594	-17.088	-15.558	-20.165	-19.792	-20.805	-25.607
2048	-23.716	-23.811	-27.297	-26.442	-20.405	-18.687	-18.174	-16.626	-21.469	-21.153	-22.304	-27.398
2049	-25.398	-25.419	-29.062	-28.073	-21.684	-19.832	-19.311	-17.746	-22.835	-22.579	-23.873	-29.274
2050	-27.159	-27.104	-30.912	-29.783	-23.025	-21.033	-20.504	-18.919	-24.266	-24.073	-25.518	-31.239
2051	-29.003	-28.869	-32.850	-31.576	-24.431	-22.292	-21.754	-20.148	-25.767	-25.638	-27.240	-33.298
2052	-30.936	-30.719	-34.882	-33.456	-25.905	-23.612	-23.064	-21.436	-27.340	-27.278	-29.044	-35.456

APÊNDICE E – ESTIMATIVA DA FATURA COM SFV

Fatura Com SFV (R\$)												
Fatura Energia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2023	0	41	1.063	2.040	1.310	1.539	1.193	73	1.124	76	0	0
2024	0	639	1.749	2.705	1.823	2.009	1.650	491	1.664	607	0	408
2025	99	1.159	2.372	3.337	2.303	2.458	2.078	855	2.162	1.069	246	996
2026	668	1.757	3.086	4.055	2.850	2.968	2.566	1.274	2.731	1.602	785	1.677

2027	1.327	2.445	3.900	4.869	3.472	3.546	3.120	1.755	3.378	2.214	1.408	2.460
2028	2.087	3.233	4.827	5.791	4.177	4.199	3.749	2.306	4.114	2.915	2.127	3.358
2029	2.961	4.132	5.880	6.833	4.975	4.938	4.461	2.935	4.949	3.715	2.952	4.386
2030	3.963	5.158	7.075	8.010	5.879	5.772	5.266	3.652	5.894	4.627	3.897	5.560
2031	5.108	6.324	8.429	9.338	6.899	6.712	6.175	4.467	6.964	5.664	4.976	6.897
2032	6.414	7.648	9.960	10.834	8.050	7.770	7.200	5.393	8.171	6.841	6.206	8.417
2033	7.900	9.149	11.690	12.518	9.347	8.961	8.356	6.441	9.534	8.174	7.605	10.141
2034	9.588	10.848	13.641	14.412	10.808	10.300	9.657	7.627	11.070	9.684	9.193	12.094
2035	11.503	12.768	15.840	16.539	12.450	11.803	11.120	8.968	12.799	11.389	10.994	14.304
2036	13.670	14.935	18.315	18.929	14.296	13.491	12.764	10.481	14.743	13.314	13.031	16.801
2037	16.121	17.379	21.099	21.609	16.369	15.384	14.609	12.186	16.928	15.484	15.333	19.618
2038	18.888	20.131	24.229	24.615	18.695	17.505	16.681	14.107	19.382	17.928	17.931	22.793
2039	22.009	23.227	27.742	27.982	21.303	19.882	19.003	16.268	22.135	20.678	20.861	26.368
2040	25.525	26.709	31.685	31.754	24.226	22.543	21.605	18.696	25.223	23.769	24.161	30.389
2041	29.482	30.619	36.107	35.976	27.500	25.520	24.519	21.424	28.683	27.240	27.874	34.909
2042	33.933	35.009	41.062	40.699	31.165	28.851	27.781	24.486	32.558	31.137	32.047	39.985
2043	38.932	39.933	46.612	45.980	35.265	32.574	31.431	27.920	36.896	35.508	36.736	45.681
2044	44.546	45.452	52.825	51.884	39.851	36.736	35.512	31.769	41.750	40.406	41.998	52.069
2045	50.844	51.635	59.776	58.481	44.977	41.385	40.075	36.081	47.178	45.894	47.901	59.228
2046	57.905	58.559	67.550	65.849	50.706	46.576	45.172	40.908	53.246	52.039	54.517	67.247
2047	65.816	66.307	76.240	74.075	57.104	52.372	50.866	46.310	60.026	58.915	61.929	76.225
2048	74.676	74.974	85.951	83.258	64.249	58.840	57.224	52.352	67.599	66.606	70.229	86.270
2049	84.593	84.664	96.798	93.505	72.224	66.056	64.321	59.107	76.056	75.204	79.517	97.505
2050	95.687	95.494	108.910	104.935	81.124	74.105	72.240	66.656	85.496	84.814	89.905	110.065
2051	108.093	107.593	122.430	117.683	91.052	83.081	81.074	75.090	96.030	95.549	101.521	124.101
2052	121.959	121.106	137.517	131.896	102.126	93.087	90.926	84.508	107.782	107.538	114.502	139.779

APÊNDICE F – ESTIMATIVA DA FATURA SEM SFV

Estimativa de fatura sem SFV (R\$)												
Fatura Energia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
2023	7.274,92	6.997,45	7.719,92	7.177,54	5.617,43	5.043,65	4.995,49	4.872,98	5.986,00	6.204,83	6.797,46	8.149,21
2024	8.080,18	7.772,00	8.574,43	7.972,02	6.239,23	5.601,93	5.548,44	5.412,37	6.648,59	6.891,64	7.549,87	9.051,24
2025	8.974,57	8.632,28	9.523,54	8.854,45	6.929,85	6.222,01	6.162,59	6.011,47	7.384,52	7.654,48	8.385,57	10.053,13
2026	9.967,97	9.587,79	10.577,70	9.834,55	7.696,91	6.910,72	6.844,73	6.676,88	8.201,91	8.501,75	9.313,77	11.165,91

2027	11.071,3 2	10.649,0 6	11.748,5 4	10.923,1 3	8.548,89	7.675,67	7.602,37	7.415,94	9.109,78	9.442,81	10.344,7 1	12.401,8 6
2028	12.296,8 1	11.827,8 0	13.048,9 9	12.132,2 1	9.495,16	8.525,29	8.443,88	8.236,81	10.118,1 4	10.488,0 4	11.489,7 7	13.774,6 2
2029	13.657,9 4	13.137,0 2	14.493,3 8	13.475,1 3	R\$ 10.546,1 8	9.468,96	9.378,53	9.148,54	11.238,1 2	11.648,9 6	12.761,5 7	15.299,3 3
2030	15.169,7 4	14.591,1 6	16.097,6 5	14.966,6 9	11.713,5 4	10.517,0 8	10.416,6 4	10.161,1 9	12.482,0 7	12.938,3 8	14.174,1 5	16.992,8 2
2031	16.848,8 8	16.206,2 6	17.879,5 0	16.623,3 6	13.010,1 1	11.681,2 1	11.569,6 6	11.285,9 4	13.863,7 1	14.370,5 3	15.743,0 8	18.873,7 5
2032	18.713,8 8	18.000,1 3	19.858,5 9	18.463,3 9	14.450,2 0	12.974,2 0	12.850,3 1	12.535,1 8	15.398,2 8	15.961,2 1	17.485,6 8	20.962,8 9
2033	20.785,3 2	19.992,5 6	22.056,7 3	20.507,1 1	16.049,6 9	14.410,3 2	14.272,7 1	13.922,7 0	17.102,7 2	17.727,9 5	19.421,1 7	23.283,2 7
2034	23.086,0 5	22.205,5 4	24.498,1 9	22.777,0 4	17.826,2 3	16.005,4 0	15.852,5 5	15.463,8 0	18.995,8 2	19.690,2 6	21.570,9 0	25.860,5 0
2035	25.641,4 4	24.663,4 7	27.209,9 0	25.298,2 3	19.799,4 2	17.777,0 3	17.607,2 7	17.175,4 9	21.098,4 7	21.869,7 8	23.958,5 9	28.722,9 9
2036	28.479,7 0	27.393,4 7	30.221,7 6	28.098,4 9	21.991,0 1	19.744,7 7	19.556,2 2	19.076,6 4	23.433,8 5	24.290,5 4	26.610,5 6	31.902,3 4
2037	31.632,1 1	30.425,6 5	33.567,0 1	31.208,7 1	24.425,2 0	21.930,3 2	21.720,9 0	21.188,2 3	26.027,7 5	26.979,2 6	29.556,0 8	35.433,6 1
2038	35.133,4 7	33.793,4 6	37.282,5 4	34.663,2 0	27.128,8 2	24.357,7 9	24.125,1 9	23.533,5 6	28.908,7 6	29.965,5 9	32.827,6 5	39.355,7 6
2039	39.022,4 0	37.534,0 6	41.409,3 4	38.500,0 8	30.131,7 1	27.053,9 5	26.795,6 0	26.138,4 9	32.108,6 7	33.282,4 9	36.461,3 4	43.712,0 5
2040	43.341,7 8	41.688,7 1	45.992,9 4	42.761,6 5	33.466,9 9	30.048,5 6	29.761,6 1	29.031,7 6	35.662,7 8	36.966,5 2	40.497,2 5	48.550,5 3
2041	48.139,2 9	46.303,2 3	51.083,9 0	47.494,9 4	37.171,4 6	33.374,6 3	33.055,9 2	32.245,2 8	39.610,2 9	41.058,3 5	44.979,8 9	53.924,5 9
2042	53.467,8 2	51.428,5 4	56.738,3 8	52.752,1 5	41.285,9 6	37.068,8 7	36.714,8 8	35.814,5 2	43.994,7 5	45.603,1 0	49.958,7 1	59.893,5 1
2043	59.386,1 8	57.121,1 6	63.018,7 5	58.591,2 8	45.855,9 1	41.172,0 2	40.778,8 5	39.778,8 2	48.864,5 3	50.650,9 1	55.488,6 4	66.523,1 2
2044	65.959,6 3	63.443,9 0	69.994,3 0	65.076,7 5	50.931,7 0	45.729,3 5	45.292,6 6	44.181,9 4	54.273,3 5	56.257,4 5	61.630,6 8	73.886,5 6
2045	73.260,7 1	70.466,5 1	77.741,9 7	72.280,1 0	56.569,3 3	50.791,1 4	50.306,1 1	49.072,4 4	60.280,8 7	62.484,5 9	68.452,5 8	82.065,0 6
2046	81.369,9 3	78.266,4 5	86.347,2 2	80.280,7 8	62.830,9 9	56.413,2 1	55.874,4 9	54.504,2 7	66.953,3 5	69.401,0 1	76.029,5 9	91.148,8 5
2047	90.376,7 7	86.929,7 6	95.905,0 0	89.167,0 6	69.785,7 5	62.657,5 9	62.059,2 4	60.537,3 5	74.364,4 2	77.083,0 1	84.445,3 1	101.238, 11
2048	100.380, 58	96.552,0 1	106.520, 72	99.036,9 7	77.510,3 3	69.593,1 5	68.928,5 7	67.238,2 3	82.595,8 2	85.615,3 3	93.792,5 6	112.444, 16
2049	111.491, 70	107.239, 36	118.311, 50	109.999, 37	86.089,9 5	77.296,4 2	76.558,2 8	74.680,8 3	91.738,3 5	95.092,0 9	104.174, 46	124.890, 60
2050	123.832, 72	119.109, 68	131.407, 40	122.175, 20	95.619,2 5	85.852,3 6	85.032,5 1	82.947,2 5	101.892, 87	105.617, 83	115.705, 53	138.714, 74
2051	137.539, 76	132.293, 93	145.952, 89	135.698, 77	106.203, 34	95.355,3 6	94.444,7 6	92.128,6 8	113.171, 39	117.308, 67	128.512, 97	154.069, 08
2052	152.764, 04	146.937, 55	162.108, 41	150.719, 27	117.958, 99	105.910, 24	104.898, 85	102.326, 40	125.698, 33	130.293, 56	142.738, 07	171.122, 99

APÊNDICE G – ESTIMATIVA DE ECONOMIA COM O SFV

Estimativa de economia com o SFV (R\$)													
Fatura Energia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total
2023	7.274,92	6.956	6.657	5.138	4.308	3.505	3.803	4.800	4.862	6.129	6.797	8.149	68.378
2024	8.080	7.133	6.826	5.267	4.416	3.593	3.899	4.922	4.985	6.285	7.550	8.644	71.599
2025	8.876	7.474	7.151	5.518	4.627	3.764	4.084	5.157	5.223	6.585	8.140	9.057	75.654
2026	9.300	7.830	7.492	5.780	4.847	3.943	4.279	5.403	5.471	6.899	8.529	9.489	79.263
2027	9.744	8.204	7.849	6.054	5.077	4.130	4.482	5.661	5.732	7.229	8.936	9.942	83.041

2028	10.210	8.595	8.222	6.342	5.318	4.326	4.695	5.931	6.004	7.573	9.363	10.416	86.996
2029	10.697	9.005	8.613	6.642	5.571	4.531	4.918	6.213	6.289	7.934	9.810	10.913	91.136
2030	11.207	9.433	9.022	6.957	5.835	4.745	5.151	6.509	6.588	8.312	10.277	11.433	95.469
2031	11.741	9.882	9.451	7.285	6.111	4.969	5.395	6.819	6.900	8.707	10.767	11.977	100.004
2032	12.300	10.352	9.899	7.630	6.400	5.204	5.650	7.143	7.227	9.121	11.280	12.546	104.750
2033	12.885	10.843	10.367	7.989	6.702	5.449	5.917	7.482	7.569	9.553	11.816	13.142	109.715
2034	13.498	11.357	10.858	8.366	7.019	5.706	6.196	7.836	7.926	10.007	12.377	13.766	114.910
2035	14.139	11.895	11.370	8.759	7.349	5.974	6.487	8.207	8.300	10.480	12.965	14.419	120.345
2036	14.809	12.458	11.907	9.170	7.695	6.254	6.793	8.596	8.691	10.976	13.580	15.102	126.030
2037	15.511	13.047	12.468	9.600	8.056	6.547	7.111	9.002	9.100	11.495	14.223	15.816	131.975
2038	16.245	13.663	13.054	10.049	8.434	6.853	7.445	9.427	9.527	12.038	14.896	16.563	138.192
2039	17.013	14.307	13.667	10.518	8.828	7.172	7.793	9.871	9.973	12.605	15.600	17.344	144.692
2040	17.817	14.980	14.308	11.008	9.241	7.506	8.157	10.335	10.440	13.198	16.336	18.162	151.487
2041	18.657	15.684	14.977	11.519	9.671	7.854	8.537	10.821	10.928	13.818	17.106	19.016	158.588
2042	19.535	16.420	15.676	12.053	10.121	8.218	8.934	11.328	11.437	14.466	17.911	19.909	166.009
2043	20.454	17.189	16.407	12.611	10.590	8.598	9.348	11.859	11.969	15.143	18.753	20.842	173.762
2044	21.414	17.992	17.170	13.193	11.081	8.994	9.780	12.413	12.524	15.851	19.633	21.818	181.860
2045	22.417	18.831	17.966	13.799	11.592	9.407	10.231	12.992	13.103	16.590	20.552	22.837	190.318
2046	23.465	19.708	18.798	14.432	12.125	9.837	10.702	13.596	13.708	17.362	21.512	23.901	199.147
2047	24.560	20.623	19.665	15.092	12.682	10.286	11.193	14.227	14.339	18.168	22.516	25.013	208.364
2048	25.704	21.578	20.570	15.779	13.261	10.753	11.705	14.886	14.996	19.010	23.564	26.174	217.981
2049	26.899	22.575	21.514	16.495	13.866	11.240	12.238	15.574	15.682	19.888	24.658	27.385	228.013
2050	28.146	23.616	22.498	17.240	14.495	11.747	12.793	16.291	16.397	20.804	25.800	28.650	238.476
2051	29.447	24.701	23.523	18.016	15.151	12.275	13.371	17.039	17.141	21.759	26.992	29.968	249.383
2052	30.805	25.832	24.591	18.823	15.833	12.823	13.973	17.819	17.916	22.755	28.236	31.344	260.750

APÊNDICE H - ESTIMATIVA DE FLUXO DE CAIXA

Fluxo de Caixa (R\$)														
Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total	Valor Presente
Investimento Inicial													- 290.402	- 290.402
2023	7.116	6.797	6.498	4.979	4.149	3.346	3.644	4.641	4.703	5.970	6.639	7.991	66.474	58.413
2024	7.912	6.965	6.658	5.099	4.249	3.425	3.731	4.754	4.817	6.117	7.382	8.476	69.585	53.732
2025	8.698	7.296	6.974	5.340	4.449	3.587	3.907	4.979	5.045	6.407	7.962	8.879	73.524	49.889
2026	9.112	7.643	7.304	5.592	4.659	3.755	4.091	5.215	5.284	6.712	8.341	9.301	77.009	45.917

2027	9.546	8.005	7.650	5.856	4.879	3.931	4.284	5.462	5.533	7.030	8.738	9.744	80.657	42.260
2028	10.000	8.385	8.012	6.131	5.108	4.116	4.485	5.721	5.794	7.363	9.153	10.206	84.474	38.893
2029	10.475	8.782	8.391	6.420	5.349	4.309	4.696	5.991	6.067	7.712	9.587	10.691	88.468	35.793
2030	10.972	9.198	8.787	6.721	5.600	4.510	4.916	6.274	6.353	8.076	10.042	11.198	92.647	32.938
2031	11.492	9.633	9.202	7.037	5.862	4.721	5.146	6.570	6.651	8.458	10.518	11.728	97.019	30.309
2032	12.037	10.089	9.635	7.366	6.137	4.941	5.387	6.879	6.964	8.857	11.016	12.283	101.592	27.889
2033	12.607	10.565	10.089	7.711	6.424	5.171	5.638	7.203	7.290	9.275	11.538	12.864	106.376	25.661
2034	13.203	11.063	10.563	8.071	6.724	5.411	5.901	7.542	7.632	9.712	12.083	13.472	111.378	23.610
2035	13.827	11.584	11.059	8.447	7.038	5.662	6.176	7.896	7.989	10.169	12.654	14.107	116.608	21.721
2036	14.480	12.129	11.577	8.841	7.365	5.924	6.463	8.266	8.361	10.647	13.250	14.772	122.077	19.982
2037	15.163	12.699	12.119	9.251	7.708	6.198	6.763	8.653	8.751	11.147	13.875	15.467	127.794	18.381
2038	15.877	13.294	12.685	9.680	8.065	6.484	7.076	9.058	9.158	11.669	14.528	16.194	133.769	16.907
2039	16.624	13.917	13.277	10.128	8.439	6.782	7.403	9.481	9.583	12.215	15.210	16.955	140.013	15.551
2040	17.404	14.568	13.895	10.595	8.828	7.093	7.744	9.923	10.028	12.785	15.924	17.749	146.537	14.302
2041	18.221	15.248	14.541	11.083	9.235	7.418	8.100	10.385	10.491	13.382	16.670	18.580	153.353	13.152
2042	19.074	15.958	15.215	11.592	9.659	7.756	8.472	10.867	10.975	14.005	17.450	19.447	160.471	12.093
2043	19.966	16.700	15.919	12.123	10.102	8.109	8.860	11.371	11.480	14.655	18.265	20.354	167.904	11.119
2044	20.897	17.476	16.653	12.676	10.564	8.477	9.264	11.896	12.007	15.335	19.116	21.301	175.664	10.222
2045	21.871	18.285	17.420	13.253	11.046	8.860	9.685	12.445	12.557	16.044	20.006	22.291	183.763	9.397
2046	22.887	19.130	18.220	13.854	11.548	9.259	10.124	13.018	13.130	16.784	20.935	23.324	192.214	8.637
2047	23.949	20.012	19.054	14.480	12.070	9.675	10.582	13.616	13.727	17.557	21.905	24.402	201.029	7.938
2048	25.058	20.932	19.924	15.132	12.615	10.107	11.058	14.240	14.350	18.363	22.917	25.527	210.223	7.294
2049	26.215	21.891	20.830	15.811	13.182	10.556	11.554	14.890	14.998	19.204	23.974	26.701	219.807	6.702
2050	27.422	22.892	21.774	16.517	13.772	11.024	12.070	15.567	15.673	20.080	25.077	27.926	229.795	6.157
2051	28.682	23.935	22.758	17.251	14.386	11.509	12.606	16.274	16.376	20.994	26.227	29.203	240.200	5.655
2052	29.996	25.022	23.782	18.013	15.024	12.014	13.164	17.009	17.107	21.946	27.426	30.534	251.036	5.194

ANEXO A - FOLHA DE DADOS DO MÓDULO ODA550-36V-MH



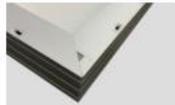
ODA550-36V-MH

DIMENSIONS
 2279*1134*35mm

CELL SIZE
 182*91mm




JUNCTION BOX
 Waterproof protection grade: IP67/IP68
 Safety Level: Class II
 Maximum System Voltage: 1500V
 outstanding waterproof level -
 Effectively resist harsh environments



Frame
 Strong mechanical load
 resistance up to 5400Pa
 Anodic oxidation layer resistant to
 chemical corrosion available
 in silver and black



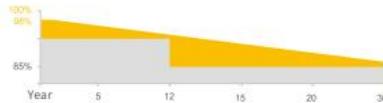
10BB

QUALIFICATIONS AND CERTIFICATES



• IEC61215 / • IEC61730

WARRANTY



- 12 YEARS** Guarantee on product material and workmanship
- 30 YEARS** Linear Power output warranty



Half-cut Technology
 New circuit design, lower internal current and
 lower internal resistance loss



Significantly avoiding heat spot
 The unique circuit design to reduce the temperature
 of heat spot significantly, so that to reduce the power loss
 and then increase the output of modules.



Lower cost
 Increasing power generation can reduce the
 cost per kilowatt-hour



Excellent performance of PID resistance
 The performance of PID resistance (Potential Induced
 Degradation) passed the standard of TUV Nord.

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

OSDA Solar established in 2008, is a high-tech enterprise integrating R&D, production and sales of solar energy products. It is committed to the overall solution of distributed photovoltaic system and provides services from consulting, design, construction, financing to intelligent operation and maintenance.

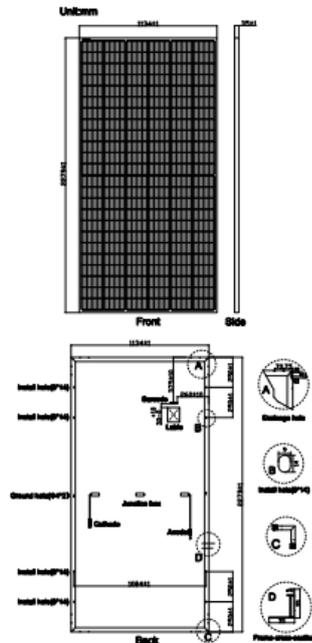
OSDA has 3 production sites in China and branches and representative offices in more than 10 countries overseas. Products include solar cells, modules, On/Off grid solar system, solar pump and other solar related applications. Our products have passed many international certifications such as TUV, MCS, CEC, IEC, ISO, CE, CQC and so on. With excellent quality, our products are exported to more than 100 countries of the world.

Since its establishment, OSDA has always followed the idea of "Smart energy · Lightening future". It has followed the steps of "the Belt and Road Initiative", we bring bright light to the countries and people who are short of electricity. Sharing the concept of modern civilization, and building a green home together.

ODA550-36V-MH

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

PV DRAWINGS



ELECTRICAL DATA (STC)

Model Type	ODA550-36V-MH
Peak Power(Pmax)	550.00
Maximum Power Voltage(Vmp)	42.10
Maximum Power Current(Imp)	13.06
Open Circuit Voltage(Voc)	50.10±3%
Short Circuit Current(Isc)	14.01±3%
Module Efficiency(%)	21.3

* STC: irradiance 1000 W/m², AM 1.5, and cell temperature of 25°C

ELECTRICAL DATA (NOCT)

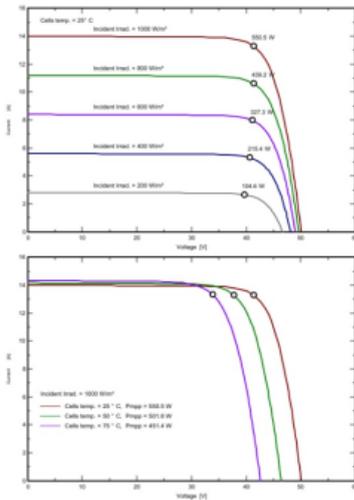
Model Type	ODA550-36V-MH
Peak Power(Pmax)	408.90
Maximum Power Voltage(Vmp)	39.09
Maximum Power Current(Imp)	10.46
Open Circuit Voltage(Voc)	46.92±3%
Short Circuit Current(Isc)	11.20±3%

* NOCT: irradiance 800 W/m², AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s

TEMPERATURE & MAXIMUM RATING

Maximum System Voltage (V)	1500 V
Maximum Series Fuse Rating (A)	25 A
Power Tolerance	0~+5 W
Pmax Temperature Coefficients (W/°C)	-0.350 %/°C
Voc Temperature Coefficients (V/°C)	-0.285 %/°C
Isc Temperature Coefficients (A/°C)	+0.045 %/°C
NOCT Nominal Operating Cell Temperature (°C)	45±2 °C
Operating and Storage Temperature (°C)	-40~+85 °C

IV CURVE



MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell Type	182*91 Mono
No. of Cells	144 (6*24)
Dimensions	2279*1134*35mm
Weight	28.40kg
Front Glass	3.2mm high transmission, low iron, tempered glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction box	IP67/IP68 3diodes
Output cables	4mm ² cable 30cm (including MC4 connector)
MaxWind Load/Snow Load	2400Pa/5400Pa

PACKING WAY

20FT container	5 Packages/155pcs
40HQ container	20 Packages/620pcs



We Are Seeking Agents And Partners!

ADD: NO.128 Haichuan Rd., Jiangbei Dist., Ningbo, China

Tel : 86-574-87915068

Call: 86-13566302808

E-mail : sales@osdasol.com

The company reserves the right of final interpretation, November 2020 edition

ANEXO B - FOLHA DE DADOS DO INVERSOR SOFAR 80KTLX-G3

SOFAR 60K-80KTLX-G3

60 / 80 kW

THREE-PHASE SIX MPPTS



Product advantages

- Max. efficiency up to 98.7%
- Longtime 110% AC overload ability
- Type II SPD for both DC and AC side
- 6 MPPTs with 1.5 times DC overload
- Low start-up voltage, wide MPPT voltage range
- Compatible with 500 W+ PV modules
- I-V curve scanning function

Datasheet	SOFAR 60KTLX2-G3	SOFAR 80KTLX-G3
Input (DC)		
Max. input voltage		1100V
Rated input voltage		620V
Start-up voltage		200V
MPPT operating voltage range		180V-1000V
Number of MPPTs		6
Number of DC inputs		2 for each MPPT
Max. input MPPT current		6'40A
Max. input short circuit current		6'60A
Output (AC)		
Rated output power	60000W	80000W
Max. apparent power	66000VA	88000VA
Max. output current	100A	133.3A
Rated output voltage		3/N/PE, 230/400Vac
Output voltage range		310Vac-480Vac
Rated output frequency		50/60Hz
Output frequency range		45Hz-55Hz/55Hz-65Hz
Active power adjustable range		0-100%
THDI		<3%
Power factor		1 (adjustable +/-0.8)
Efficiency		
Max. efficiency		98.7%
European efficiency		98.2%
Protection		
DC reverse polarity protection		Yes
Anti-islanding protection		Yes
Leakage current protection		Yes
Ground fault monitoring		Yes
PV-array string fault monitoring		Yes
DC switch		Yes
SPD		PV: type II, AC: type II
General Data		
Ambient temperature range		-30 °C--60 °C
Self-consumption at night		<2W
Topology		Transformerless
Degree of protection		IP66
Allowable relative humidity range		0-100%
Max. operating altitude		4000m (>3000m derating)
Cooling		Smart air cooling
Dimension (W*H*D)		687*561*275mm
Weight		50kg
Display		LCD & Bluetooth +APP
Communication		RS485/WIFI
Standard		IEC/EN 61000-6-2/4, IEC 62116, IEC 61727, IEC 61683, IEC 60069-1/2/14/30, IEC/EN 62109-1/2, C99, VDE-AR-N 4105, VDE V 0126-1-1, CEI0-21, EN 50549-1, UNE 217002-2020

*All specifications are subject to change without notice.

03 / 2023—V2