



CURSO DE GESTÃO DA PRODUÇÃO INDUSTRIAL

IVAIR FERREIRA DE ALMEIDA

**ENERGIA FOTOVOLTAICA COMO ESTRATÉGIA DE REDUÇÃO DE
CUSTOS OPERACIONAIS COM ENERGIA ELÉTRICA EM UMA
EMPRESA DE PEQUENO PORTE**

GUARULHOS

2025

IVAIR FERREIRA DE ALMEIDA

**ENERGIA FOTOVOLTAICA COMO ESTRATÉGIA DE REDUÇÃO DE
CUSTOS OPERACIONAIS COM ENERGIA ELÉTRICA EM UMA
EMPRESA DE PEQUENO PORTE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Gestão da
Produção Industrial como requisito parcial
para obtenção do Título de Tecnólogo em
Gestão da Produção Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Batista
Silva

GUARULHOS

2025

IVAIR FERREIRA DE ALMEIDA

**ENERGIA FOTOVOLTAICA COMO ESTRATÉGIA DE REDUÇÃO DE
CUSTOS OPERACIONAIS COM ENERGIA ELÉTRICA EM UMA
EMPRESA DE PEQUENO PORTE**

Trabalho de Graduação apresentado ao Curso de Gestão da Produção Industrial como requisito parcial para obtenção do Título de Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial.

Banca Examinadora

Orientador: _____

Prof. Dr. Marco Antonio Batista Silva
Faculdade de Tecnologia de Guarulhos

Banca: _____

Prof. Me. Cleber Correa Vieira
Faculdade de Tecnologia de Guarulhos

Banca: _____

Prof. Me. Nilton Stringasci Moreira
Faculdade de Tecnologia de Guarulhos

Guarulhos, 28/11/2025

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, força e sabedoria concedidas ao longo desta caminhada.

Aos professores e profissionais da FATEC Guarulhos, pela dedicação, orientação e conhecimentos transmitidos durante o curso

Aos amigos que fiz na faculdade, que se tornaram mais do que colegas de sala e hoje são verdadeiros amigos para a vida, agradeço pela amizade, pelo apoio e pelos momentos que tornaram esta jornada mais leve e significativa.

Aos colegas de turma, pela convivência, pela troca de experiências e pelo companheirismo ao longo destes três anos.

E, por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha formação e para a realização deste trabalho.

Olhe para cima nas estrelas e não para baixo em seus pés.
Tente dar sentido ao que você vê e pergunte-se sobre o que
faz o universo existir. Seja curioso.

Stephen Hawking

RESUMO

ALMEIDA, Ivair Ferreira de. **Energia Fotovoltaica Como Estratégia De Redução De Custos Operacionais Com Energia Elétrica Em Uma Empresa De Pequeno Porte.** 2025. 56 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Tecnologia de Guarulhos, Guarulhos-SP.

O presente trabalho analisa a viabilidade da implantação de um sistema fotovoltaico em uma empresa de pequeno porte do setor automotivo, localizada em Guarulhos/SP, com o objetivo de reduzir custos operacionais com energia elétrica e aumentar a competitividade. A metodologia adotada foi a pesquisa-ação diagnóstica, que permitiu levantar dados de consumo energético, dimensionar o sistema fotovoltaico, estimar a geração mensal de energia e calcular o retorno do investimento. O estudo demonstrou que o consumo médio mensal da empresa é de 12.930 kWh, com um gasto aproximado de R\$ 11,7 mil em energia elétrica. O sistema projetado, de 82,34 kWp, foi dimensionado para atender 70% da demanda energética, proporcionando uma economia anual estimada de R\$ 98,6 mil. Com um investimento inicial de R\$ 186.025,85 e uma taxa mínima de atratividade de 15% ao ano, obteve-se um *payback* descontado de 2 anos e 5 meses. Os resultados confirmam a viabilidade econômica do projeto e destacam as perspectivas de redução de custos operacionais com energia elétrica a longo prazo, reforçando a sustentabilidade financeira e ambiental da organização.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica; Custos Operacionais; Viabilidade Econômica; *Payback*.

ABSTRACT

This work analyzes the feasibility of implementing a photovoltaic system in a small automotive company located in Guarulhos, São Paulo, with the aim of reducing operational costs related to electricity consumption and increasing competitiveness. The methodology adopted was diagnostic action research, which enabled the collection of energy consumption data, the sizing of the photovoltaic system, the estimation of monthly energy generation, and the calculation of the investment return. The study showed that the company's average monthly energy consumption is 12,930 kWh, with an approximate electricity cost of BRL 11,700. The designed system, with an installed capacity of 82.34 kWp, was sized to meet 70% of the company's energy demand, resulting in an estimated annual savings of BRL 98,600. With an initial investment of BRL 186,025.85 and a minimum attractiveness rate of 15% per year, a discounted payback of 2 years and 5 months was obtained. The results confirm the project's economic feasibility and highlight the potential for long-term reductions in operational electricity costs, reinforcing the company's financial and environmental sustainability.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy; Operational Costs; Economic Feasibility; Payback.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama esquemático da energia solar.....	21
Figura 2 - Tipos de Pesquisa-ação segundo Barbier (2007)	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fatores para Custo de um Sistema Fotovoltaico	22
Quadro 2 - Etapas da pesquisa-ação adotadas neste estudo.....	33
Quadro 3 - Características da Ligação da Rede Elétrica da Empresa	35
Quadro 4 - Análise da Estrutura Física e Potencial de Instalação.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de Energia da Empresa	35
Tabela 2 - Irradiação Solar Média (HSP) em Guarulhos-SP	37
Tabela 3 - Preços médios de referência dos equipamentos fotovoltaicos (2025)	41
Tabela 4 - Estimativa de custos totais dos equipamentos do sistema	42
Tabela 5 - Estimativa de custos da estrutura e da instalação	43
Tabela 6 - Estimativa de geração mensal (kWh) do sistema fotovoltaico	44
Tabela 7 - Comparação Geração Estimada X Consumo Médio Mensal X Meta de Geração	45
Tabela 8 - Fluxo de Caixa Descontado do Sistema Fotovoltaico Dimensionado	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparação entre Consumo Médio Mensal e Geração Estimada	46
Gráfico 2 - <i>Payback</i> Descontado do Sistema Fotovoltaico.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CRESESB	Centro de Referência para Energias Sustentáveis do Brasil
FC	Fluxo de Caixa
FDI	Fator de Dimensionamento do Inversor
HSP	Horas de Sol Pleno
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ISE	<i>Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira Registrada
PERC	<i>Passivated Emitter and Rear Cell</i>
PBD	<i>Payback</i> Descontado
PBS	<i>Payback</i> Simples
PR	<i>Performance Ratio</i>
PVGIS	<i>Photovoltaic Geographical Information System</i>
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TMT	Tempo Máximo Tolerado
VP	Valor Presente
VPL	Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ampère
Ah	Ampère-hora
m ²	Metro cuadrado
kV	Quilovolt
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
kWh/dia	Quilowatt-hora por dia
kWh/m ² /dia	Quilowatt-hora por metro cuadrado por dia
kWp	Quilowatt-pico
V	Volt
W/m ²	Watt por metro cuadrado
Wh/dia	Watt-hora por dia
Wp	Watt-pico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 QUESTÃO DE PESQUISA	17
1.2 OBJETIVOS.....	17
1.2.1 Objetivo Geral.....	17
1.2.2 Objetivos Específicos.....	17
1.3 Justificativa para Estudo do Tema	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1 ENERGIA FOTOVOLTAICA: CONCEITOS E FUNDAMENTOS	19
2.1.1 Definição e Breve Histórico da Energia Fotovoltaica	19
2.1.2 Princípios de Funcionamento	20
2.1.3 Custos de Instalação	21
2.1.4 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico	22
2.1.4.1 Escolha do Tipo de Sistema (<i>On Grid</i> ou <i>Off Grid</i>).....	23
2.1.4.2 Levantamento do Consumo Diário de Energia	23
2.1.4.3 Irradiação Solar no Local (HSP – Horas de Sol Pleno).....	24
2.1.4.4 Cálculo da Potência do Sistema Fotovoltaico	24
2.1.4.5 Dimensionamento dos Módulos Fotovoltaicos.....	25
2.1.4.6 Dimensionamento do Inversor	25
2.1.4.7 Estimativa de Produção de Energia.....	26
2.1.4.8 Dimensionamento de Banco de Baterias	26
2.1.4.9 Verificação da Área Necessária e Estrutura	27
2.2 CUSTOS OPERACIONAIS.....	27
2.2.1 Conceito de Custos Operacionais.....	27
2.2.2 Custos Operacionais com Energia Elétrica.....	28
2.3 REDUÇÃO DE CUSTOS COM A ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	29
2.4 PAYBACK.....	29
2.4.2 <i>Payback</i> Simples (PBS).....	30
2.4.2 <i>Payback</i> Descontado (PBD)	30
3 METODOLOGIA	32
3.1 TIPO DE PESQUISA	32
3.2 ETAPAS DA PESQUISA.....	33
3.3 LOCAL DA PESQUISA E AUTORIZAÇÃO	33
4 APRESENTAÇÃO DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	35
4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS DA EMPRESA.....	35
4.1.1 Características da Rede Elétrica e Consumo de Energia da Empresa	35

4.1.2 Análise da Estrutura Física e Potencial de Instalação	36
4.1.3 Definição do Tipo de Sistema e Objetivo de Geração	36
4.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	37
4.2.1 Irradiação Solar Média (HSP)	37
4.2.2 Cálculo da Potência do Sistema (kWp).....	37
4.2.3 Quantidade e Especificação dos Módulos	38
4.2.4 Escolha e Dimensionamento dos Inversores	39
4.2.5 Verificação da Área Necessária para Instalação	39
4.3 LEVANTAMENTO DOS CUSTOS DE INSTALAÇÃO.....	40
4.3.1 Custo dos Equipamentos.....	40
4.3.2 Custo da Estrutura e Instalação.....	42
4.3.3 Custo Total Estimado do Projeto	43
4.4 ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA	44
4.4.1 Geração Estimada por Mês	44
4.4.2 Comparação Entre Consumo e Geração.....	45
4.5 CÁLCULO DO <i>PAYBACK</i>	46
4.5.1 Economia Financeira Mensal Estimada.....	47
4.5.2 Tempo de Retorno do Investimento.....	48
4.6 PERSPECTIVAS DE REDUÇÃO DE CUSTOS OPERACIONAIS.....	51
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

A gestão eficiente dos custos operacionais é uma das maiores preocupações enfrentadas pelas empresas. Em um cenário de intensa competitividade, margens reduzidas e incertezas econômicas, administrar os gastos torna-se não apenas uma exigência contábil, mas uma condição indispensável para a sustentabilidade e o crescimento do negócio. Pequenas empresas, em particular, enfrentam limitações de capital, menor acesso a crédito e dificuldade de negociação com fornecedores, o que as torna mais vulneráveis às oscilações de mercado e ao aumento nos custos dos insumos (Assaf Neto, 2014).

Esses custos operacionais abrangem todas as despesas necessárias para manter a estrutura produtiva em funcionamento, como matérias-primas, mão de obra, manutenção, transporte e insumos. Entre essas despesas, a energia elétrica se destaca por sua relevância tratando-se de um insumo essencial, que alimenta equipamentos, sistemas e processos produtivos, sendo indispensável para a continuidade das atividades industriais. Como destaca Martins (2010), compreender a natureza dos custos — sejam eles fixos ou variáveis, diretos ou indiretos — é fundamental para que gestores tomem decisões eficazes, sobretudo em contextos em que os recursos são limitados.

Nesse sentido, o consumo de energia elétrica representa um desafio constante. Por ser um custo recorrente e muitas vezes subestimado, pode chegar a comprometer uma parcela significativa do orçamento empresarial. De acordo com o Sebrae (2023), a energia pode representar até 20% dos custos operacionais de uma pequena empresa, o que evidencia sua relevância no planejamento financeiro. Além disso, trata-se de um custo sujeito a fatores externos, como variações tarifárias, bandeiras energéticas e instabilidades no fornecimento, exigindo atenção especial dos gestores na busca por alternativas que ofereçam maior previsibilidade e controle (Brasil, 2023).

Diante dessa realidade, muitas organizações adotam estratégias para otimizar seus recursos e reduzir os impactos financeiros da operação. Entre as soluções mais utilizadas estão a reestruturação de processos, o investimento em automação e eficiência energética, a modernização de equipamentos e, cada vez mais, a adoção de fontes alternativas de energia. Conforme observa Torelli (2018), ações voltadas à eficiência no consumo de energia configuram-se como medidas de baixo custo com

potencial significativo de impacto na produtividade e competitividade, sobretudo no ambiente das pequenas indústrias.

Nesse contexto, a energia solar fotovoltaica tem se destacado como uma alternativa promissora. Nos últimos anos, com o avanço tecnológico, a criação de políticas de incentivo e a redução dos custos de implantação, essa fonte de energia se tornou mais acessível a diferentes perfis de consumidores. De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2023), o Brasil vem registrando sucessivos recordes de expansão da energia solar, mesmo sem considerar os sistemas de micro e minigeração, o que demonstra a consolidação dessa alternativa no setor energético nacional.

Assim, diante das crescentes pressões por eficiência, sustentabilidade e controle de gastos, as soluções que promovem autonomia energética e previsibilidade nos custos ganham cada vez mais destaque entre as estratégias adotadas pelas empresas. Nesse cenário, a transição para fontes renováveis como a energia fotovoltaica deixa de ser apenas uma tendência e passa a representar uma resposta concreta aos desafios impostos pelo atual contexto econômico e ambiental (Cavalcante, 2014).

1.1 QUESTÃO DE PESQUISA

Como a energia fotovoltaica pode ser aplicada como meio de redução de custos operacionais com energia elétrica em uma empresa de pequeno porte?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a aplicação da energia solar fotovoltaica como meio de redução de custos operacionais com energia elétrica em uma empresa de pequeno porte.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Dimensionar, de forma simplificada, uma estrutura fotovoltaica adequada ao perfil energético da empresa com base no histórico de consumo em um período de 12 meses e estimar a geração mensal de energia solar a partir da estrutura proposta;
- Calcular a redução no consumo da rede elétrica e a economia financeira mensal esperada nos custos com eletricidade, além de determinar o tempo de retorno do investimento (*payback*);
- Refletir os possíveis impactos dessa redução de custos com energia elétrica na competitividade da empresa no mercado.

1.3 Justificativa para Estudo do Tema

Torelli (2018) afirma que os gastos com energia elétrica representam um dos principais gastos fixos nas pequenas indústrias, sendo essencial buscar soluções que melhorem a eficiência para que se possa reduzi-los. Com isso, a energia solar fotovoltaica se apresenta como uma alternativa viável para a redução de gastos com eletricidade, promovendo benefícios econômicos e ambientais (Pinho e Galdino, 2014). Assim, este trabalho se justifica por demonstrar, com base em um estudo de caso, como essa tecnologia pode reduzir custos operacionais com energia elétrica em uma empresa, ao analisar os impactos positivos da geração fotovoltaica sobre o desempenho organizacional.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ENERGIA FOTOVOLTAICA: CONCEITOS E FUNDAMENTOS

2.1.1 Definição e Breve Histórico da Energia Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é obtida pela conversão direta da luz em eletricidade, por meio do efeito fotovoltaico, sendo a célula fotovoltaica — um dispositivo semicondutor — a unidade fundamental desse processo de conversão (Pinho e Galdino, 2014). Essa tecnologia, amplamente empregada em sistemas fotovoltaicos, representa uma alternativa limpa e estratégica por reduzir a utilização de fontes fósseis e mitigar a emissão de poluentes atmosféricos (Rodrigues et al., 2023).

As origens da energia solar remontam às antigas civilizações e ao uso de princípios solares desde a antiguidade, mas foi no século XIX que se consolidaram os primeiros estudos sistemáticos, culminando no desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica ao longo do século XX (Marques; Krauter; Lima, 2009). A produção industrial de células solares teve início em 1956 e, a partir da crise do petróleo nas décadas de 1970 e 1980, ampliou-se o interesse global por alternativas energéticas limpas, entre elas a solar, com destaque para investimentos em países como a Alemanha (Marques; Krauter; Lima, 2009).

No Brasil, o desenvolvimento da energia solar começou a ganhar força na década de 1980, mas a tecnologia ainda não era amplamente adotada devido aos altos custos e à falta de políticas públicas. Porém, com a crise energética de 2001 na qual, segundo o Ministério de Minas e Energia, o Brasil iniciou a década enfrentando a mais grave crise de energia da sua história, motivou a criação de políticas públicas para diversificação da matriz e incentivo a fontes renováveis, incluindo a energia solar (Brasil, 2002). A partir de 2012, com a regulamentação do mercado e incentivos fiscais, o Brasil iniciou uma expansão significativa na adoção de sistemas fotovoltaicos, estimulada por sua viabilidade técnica e econômica demonstrada em diferentes contextos institucionais (Dassi et al., 2015).

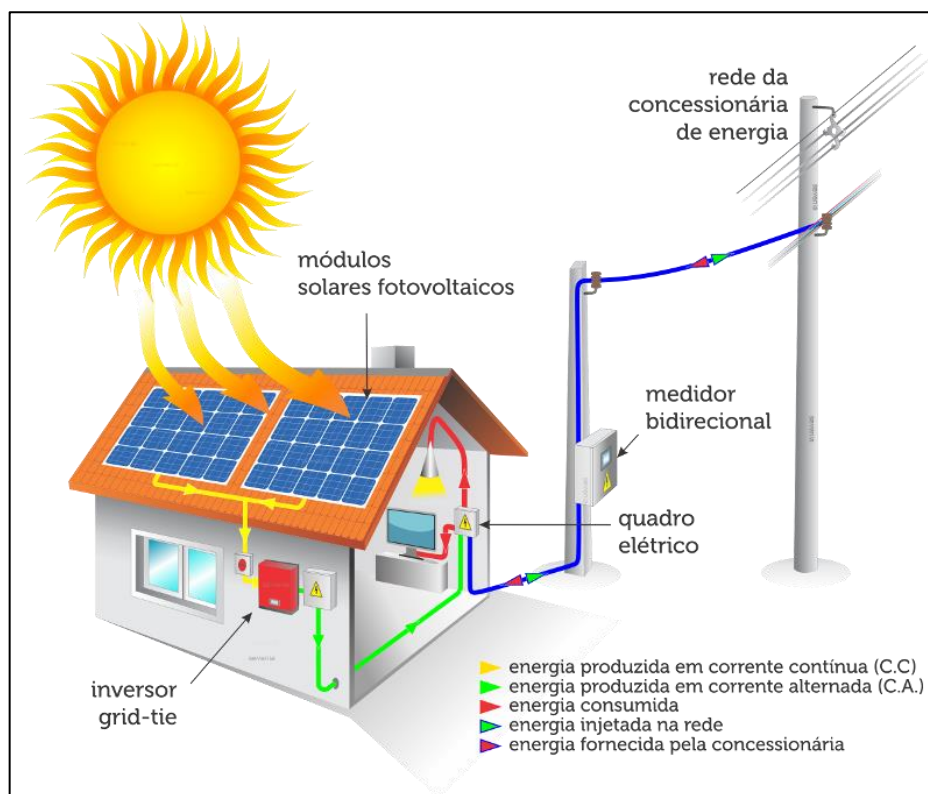
2.1.2 Princípios de Funcionamento

A energia fotovoltaica opera pela conversão da luz solar em eletricidade, utilizando o efeito fotovoltaico. Esse fenômeno se inicia quando os fótons presentes na luz solar atingem as células fotovoltaicas, geralmente feitas de silício. Ao serem absorvidos pelo material semicondutor, os fótons excitam os elétrons, liberando-os de seus átomos. Essa excitação gera um fluxo de elétrons livres, que se movem em direção a um campo elétrico criado por uma junção p-n, resultando na geração de eletricidade (Cresesb, 2006). As células fotovoltaicas são organizadas em módulos ou painéis solares, onde várias células são interconectadas em série e em paralelo. Essa configuração não só aumenta a eficiência do sistema, mas também eleva a tensão da eletricidade gerada, tornando-a mais adequada para uso prático (Pinho e Galdino, 2014).

A eletricidade gerada pelos módulos fotovoltaicos é produzida em corrente contínua (CC), que deve ser convertida em corrente alternada (CA) para ser compatível com a rede elétrica convencional. Essa conversão é realizada por um inversor, dispositivo essencial ao funcionamento do sistema. Segundo Lima et al. (2020), o inversor não apenas transforma a natureza da corrente elétrica, como também desempenha funções de controle, monitoramento e segurança na operação do sistema fotovoltaico. A instalação de sistemas fotovoltaicos requer considerações geográficas e estruturais específicas. O local deve ter boa exposição solar, preferencialmente com a face voltada para o norte (no hemisfério sul), para maximizar a captação.

Os principais componentes de um sistema fotovoltaico são: os módulos solares (responsáveis por captar a luz do sol), os inversores (que transformam corrente contínua em alternada), as baterias (que armazenam energia) e os controladores de carga, que regulam a tensão enviada às baterias. A Figura 1 ilustra um esquema de ligação de um sistema fotovoltaico e permite ter uma melhor noção sobre seu funcionamento:

Figura 1 - Diagrama esquemático da energia solar



Fonte: Luz Solar (2025)

2.1.3 Custos de Instalação

O custo de instalação de um sistema fotovoltaico depende de múltiplos fatores, abaixo segue o Quadro 1, que levanta os principais fatores a serem abordados para se estimar o custo de implementação de um sistema fotovoltaico:

Quadro 1 - Fatores para Custo de um Sistema Fotovoltaico

Aspecto Avaliado	Descrição	Fonte
Tipo de Sistema	Sistemas conectados à rede (<i>on grid</i>) e sistemas autônomos com baterias (<i>off grid</i>).	Intelbras (2022)
Tamanho do Sistema	A capacidade (em kW) influencia diretamente os custos; sistemas maiores têm custos por watt menores devido à escala.	Portal Solar (2025)
Componentes Utilizados	Painéis solares, inversores, estruturas de montagem, fiação e conectores; marcas e qualidade afetam os custos.	Portal Solar (2025)
Local de Instalação	A distância e dificuldade de acesso ao local da instalação influenciam significativamente os custos de implementação.	Portal Solar (2025)
Condições Estruturais	Custos adicionais podem ocorrer devido à necessidade de reforços estruturais para suportar os painéis solares.	Portal Solar (2025)
Incentivos e Subsídios	Programas governamentais e incentivos fiscais podem reduzir o investimento inicial.	Portal Solar (2025); Reinova (2024)
Custos de Mão de Obra	Varia conforme complexidade do projeto e experiência dos instaladores envolvidos.	Portal Solar (2025)
Manutenção e Operação	Custos periódicos para inspeção e reparos são necessários para garantir a eficiência contínua do sistema.	Portal Solar (2025); Reinova (2024)

Fonte: Elaborado pelo Autor

2.1.4 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

O dimensionamento do sistema fotovoltaico deve começar pela análise do consumo energético da unidade, seguido da avaliação das condições de insolação e da escolha técnica dos equipamentos. Ursulino (2024) destaca que para um dimensionamento adequado, considerar condições locais, perdas e características técnicas do sistema, é fundamental para garantir bom desempenho e viabilidade econômica do investimento em energia solar. A seguir levantam-se as etapas necessárias para um dimensionamento técnico de um sistema fotovoltaico, com foco na estimativa de produção energética e definição dos principais componentes do sistema, garantindo que o sistema atenda adequadamente à demanda energética da unidade consumidora.

2.1.4.1 Escolha do Tipo de Sistema (*On Grid* ou *Off Grid*)

A definição do tipo de sistema fotovoltaico é uma das primeiras etapas do dimensionamento e depende das características do local, da disponibilidade de acesso à rede elétrica e da necessidade de autonomia energética. Segundo Pinho e Galdino (2014), os sistemas podem ser classificados em:

Sistema *On Grid*: conectado à rede elétrica, permitindo a compensação de energia com a concessionária e geralmente mais indicado para áreas urbanas com fornecimento estável.

Sistema *Off Grid*: funciona de forma autônoma com o uso de baterias, sendo ideal para locais isolados ou com fornecimento elétrico instável.

Sistema Híbrido: combina as vantagens dos dois anteriores, permitindo operar com rede e com baterias.

A escolha correta impacta diretamente nos componentes a serem utilizados e na viabilidade do sistema.

2.1.4.2 Levantamento do Consumo Diário de Energia

Essa etapa tem como objetivo identificar o quanto de energia a unidade consome em média por dia, servindo como base para dimensionar o sistema que suprirá essa demanda. Os dados são obtidos a partir das faturas mensais de energia. Segundo Ribeiro (2018), esse valor é calculado dividindo-se o consumo mensal por 30 dias:

$$E_{diaria} = E_{mensal}/30 \quad [1]$$

Onde:

E_{diaria} = consumo médio diário (kWh/dia)

E_{mesal} = consumo médio mensal (kWh)

2.1.4.3 Irradiação Solar no Local (HSP – Horas de Sol Pleno)

Essa etapa visa avaliar o potencial solar da região. A HSP (Horas de Sol Pleno) representa a quantidade média diária de energia solar incidente, expressa em horas por dia, correspondendo ao número de horas em que a radiação solar atinge a intensidade de 1.000 W/m². Esse valor é fundamental para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, pois permite estimar a geração de energia com base na potência instalada (INPE, 2017). Para obtenção desse dado de forma prática e precisa, existem diferentes fontes disponíveis. Uma delas é a ferramenta online PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*), desenvolvida pelo Centro Comum de Pesquisa da Comissão Europeia, que permite consultar a irradiação média diária global de qualquer local do mundo por meio de um mapa interativo.

2.1.4.4 Cálculo da Potência do Sistema Fotovoltaico

Essa etapa visa calcular a potência do sistema necessária para atender o consumo diário da unidade, considerando a irradiação local e as perdas do sistema. Conforme Pinho e Galdino (2014), essas perdas englobam fatores como a eficiência dos inversores, perdas ôhmicas nos cabos e conexões, perdas por temperatura, além de sombreamento parcial, sujeira acumulada nos módulos e eventuais desvios de orientação e inclinação dos painéis. Tais elementos impactam diretamente no rendimento global do sistema (também chamado de *performance ratio*), dessa forma passando a ser considerado no dimensionamento da potência do sistema para prever esses tipos de perdas. Conforme o relatório técnico do Fraunhofer ISE (2025), “antes de 2000, a *performance ratio* típico situava-se em torno de 70%, enquanto hoje está na faixa de 80% a 90%”. Isso mostra que, mesmo com melhorias tecnológicas, é recomendável considerar a faixa prática de 70 a 90% em projetos fotovoltaicos como parâmetro de rendimento global.

A potência necessária do sistema fotovoltaico pode, então, ser estimada com base na média de consumo diário, na irradiação solar (HSP) e no rendimento global do sistema, conforme a relação:

$$P_{FV} = E_{diaria} / (HSP \times n) \quad [2]$$

Onde:

P_{FV} = potência necessária do sistema fotovoltaico (kWp)

E_{diaria} = consumo médio diário (kWh/dia)

HSP = horas de sol pleno (horas)

n = rendimento global do sistema (*performance ratio*)

2.1.4.5 Dimensionamento dos Módulos Fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são os componentes que convertem a energia solar em energia elétrica. A quantidade de módulos necessários pode ser obtida pela razão entre a potência do sistema e a potência de cada módulo, conforme adaptado de Pinho e Galdino (2014):

$$N_{modulos} = P_{FV}/P_{modulo} \quad [3]$$

Onde:

$N_{modulos}$ = número de módulos fotovoltaicos

P_{FV} = potência do sistema fotovoltaico (kWp)

P_{modulo} = potência de cada módulo (kWp)

2.1.4.6 Dimensionamento do Inversor

O inversor é responsável por converter a corrente contínua gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada compatível com a rede elétrica. Para definir sua potência de forma adequada, utiliza-se um fator de dimensionamento, segundo Zilles et al. (2012, apud Kroth; Rampinelli, 2020) a análise desse fator é importante para que o subdimensionamento do inversor possa reduzir o custo da energia produzida, potencializando a viabilidade de implantação do sistema fotovoltaico. Por outro lado, o subdimensionamento excessivo submeterá o inversor a níveis prolongados de temperatura mais elevada, podendo reduzir a vida útil do equipamento. Pinho e Galdino (2014) situa esse fator entre 60 e 80%.

Abaixo segue a fórmula adaptada de Pinho e Galdino (2014) e NBR 16149:2013 para cálculo do inversor utilizando-se o fator de dimensionamento (FDI):

$$FDI = P_{inversor}/P_{FV} \quad [4]$$

Onde:

FDI = fator de dimensionamento do inversor (entre 0,6 e 0,8)

$P_{inversor}$ = potência nominal do inversor (kW)

P_{FV} = potência do gerador fotovoltaico (kWp)

2.1.4.7 Estimativa de Produção de Energia

Essa etapa visa prever a geração mensal do sistema, considerando a potência instalada, o potencial solar e a eficiência global. Ribeiro (2018) e Marinoski et al. (2004) propõem:

$$E_{(mensal_gerado)} = P_{FV} \times HSP \times 30 \times n \quad [5]$$

Onde:

$E_{(mensal_gerado)}$ = energia gerada mensalmente (kWh)

P_{FV} = potência instalada (kWp)

HSP = horas de sol pleno (horas)

n = eficiência global do sistema (geralmente entre 0,75 e 0,85)

2.1.4.8 Dimensionamento de Banco de Baterias

Nos sistemas fotovoltaicos autônomos (*off grid*) ou híbridos, o banco de baterias é responsável por armazenar a energia gerada para uso posterior. O dimensionamento adequado garante a autonomia e a durabilidade do sistema.

O dimensionamento do banco de baterias deve considerar o consumo diário do sistema, os dias desejados de autonomia, a tensão nominal e a profundidade de descarga admissível das baterias. Com base em fórmula adaptada de Pinho e Galdino (2014), essa relação pode ser expressa como:

$$C_{bat} = (V_{sistema} \times DoD)/(E_{diaria} \times Autonomia) \quad [6]$$

Onde:

C_{bat} = capacidade total das baterias (Ah)

E_{diaria} = consumo médio diário (Wh/dia)

$Autonomia$ = número de dias de reserva

$V_{sistema}$ = tensão nominal do sistema (V)

DoD = profundidade de descarga recomendada (geralmente entre 0,5 e 0,8)

2.1.4.9 Verificação da Área Necessária e Estrutura

A estrutura é o suporte físico responsável por sustentar os módulos fotovoltaicos, devendo ser dimensionada conforme as condições climáticas do local, o tipo de cobertura e o espaço disponível na edificação. Para estimar a área mínima necessária, utiliza-se a relação, baseada na quantidade de módulos e sua área ocupada:

$$A_{necessaria} = N_{modulos} \times A_{modulo} \quad [7]$$

Onde:

$A_{necessaria}$ = área mínima necessária (m²)

$N_{modulos}$ = número de módulos fotovoltaicos

A_{modulo} = área média ocupada por módulo (m²)

Essa abordagem é comum em projetos de sistemas fotovoltaicos em estudos de dimensionamento, como levantado por Santos (2022), que utiliza relação similar para dimensionar a estrutura de um projeto fotovoltaico residencial.

2.2 CUSTOS OPERACIONAIS

2.2.1 Conceito de Custos Operacionais

Custos operacionais são todos os gastos necessários para garantir o funcionamento contínuo de uma organização, abrangendo todas as atividades relacionadas ao processo produtivo de uma empresa. Eles envolvem gastos com

matérias-primas, mão de obra, energia elétrica, água, manutenção, transporte, comunicações, entre outros elementos que sustentam a operação diária da empresa (Martins, 2010).

Segundo Martins (2010), os custos operacionais podem ser classificados em diretos e indiretos, fixos e variáveis, de acordo com sua relação com o processo produtivo e com o volume de atividade da empresa:

- **Custos diretos:** vinculados diretamente à produção de bens ou serviços, como matérias-primas e salários da equipe de produção;
- **Custos indiretos:** não estão ligados diretamente ao produto, mas são essenciais para o funcionamento da empresa, como limpeza, vigilância e energia elétrica;
- **Custos fixos:** permanecem constantes mesmo com variações no volume de produção, como aluguel e salários administrativos;
- **Custos variáveis:** flutuam conforme o nível de produção, como o uso de insumos e o consumo de energia nas máquinas.

Segundo Martins (2010), o conhecimento e a correta classificação dos custos são indispensáveis para a tomada de decisões gerenciais e para o planejamento eficiente, especialmente em contextos em que os recursos são mais limitados, como nas micro e pequenas empresas.

2.2.2 Custos Operacionais com Energia Elétrica

A energia elétrica é um dos principais insumos operacionais em ambientes industriais, sendo essencial ao funcionamento de máquinas, iluminação, climatização e infraestrutura de apoio. Trata-se, na maioria dos casos, de um custo indireto e fixo, pois não pode ser diretamente atribuído a um único produto e tende a permanecer relativamente estável no curto prazo, independentemente do volume de produção. Segundo o Sebrae (2023), a despesa com energia elétrica pode chegar a representar cerca de 20% de todos os custos operacionais de um pequeno negócio, o que demonstra seu peso significativo no orçamento. Em empresas de pequeno porte, essa relevância é ainda maior devido à limitação de capital e à menor capacidade de negociação com concessionárias. Para Assaf Neto (2014), o controle rigoroso dos

custos operacionais - especialmente os relacionados a insumos essenciais como a energia - é determinante para a saúde financeira e a competitividade da empresa.

Por isso Torelli (2018) destaca que os gastos com eletricidade estão entre as despesas fixas mais relevantes nas pequenas indústrias, exigindo atenção especial na busca por soluções de eficiência energética. A adoção de práticas que reduzam o consumo ou proporcionem maior previsibilidade nas faturas, como a energia fotovoltaica, pode representar um diferencial competitivo.

2.3 REDUÇÃO DE CUSTOS COM A ENERGIA FOTOVOLTAICA

A adoção de sistemas de energia fotovoltaica pode resultar em uma considerável redução dos custos operacionais para pequenas empresas. A principal economia vem da diminuição das contas de energia elétrica. Ao gerar sua própria eletricidade, uma empresa pode reduzir significativamente suas despesas mensais, o que é especialmente valioso considerando o contexto de instabilidade nos preços da energia elétrica, a adoção de sistemas fotovoltaicos se apresenta como uma solução economicamente viável, especialmente em localidades onde há abundância de radiação solar (Almeida, 2021).

A manutenção dos sistemas fotovoltaicos é considerada simples e com custos reduzidos, sendo estimada em cerca de 3% da receita anual gerada. Além disso, os sistemas possuem vida útil estimada em até 25 anos, o que contribui para sua atratividade econômica a longo prazo (Roedel e Mafra, 2019), isso se traduz em menos despesas inesperadas e mais estabilidade financeira.

2.4 PAYBACK

Segundo Lapponi (2000), o método do *Payback* é uma das formas mais utilizadas para avaliar projetos de investimento, por medir o tempo necessário para recuperar o capital inicialmente aplicado a partir dos fluxos de caixa estimados. Trata-se de um indicador de liquidez e risco, já que quanto menor o prazo de recuperação, menor a incerteza associada ao projeto.

Existem duas modalidades para cálculo do *Payback*: o *Payback* Simples (PBS) e o *Payback* Descontado (PBD):

***Payback* Simples:** corresponde ao tempo em que os fluxos de caixa acumulados igualam o valor do investimento inicial, sem considerar a variação temporal do capital.

***Payback* Descontado:** inclui o custo do dinheiro no tempo, aplicando uma taxa mínima requerida de atratividade (TMA), o que confere maior rigor financeiro à análise.

2.4.2 *Payback* Simples (PBS)

O modelo matemático do *Payback* Simples é representado por:

$$\sum_{t=0}^{PBS} FC_t = 0 \quad [8]$$

Onde:

FC_t = fluxo de caixa no período t (em R\$)

PBS = tempo de *payback* simples (anos)

O critério de decisão consiste em comparar o valor obtido com o tempo máximo tolerado pela empresa para a recuperação do investimento (TMT). Assim, se $PBS < TMT$, o projeto é aceito; caso contrário, rejeitado.

2.4.2 *Payback* Descontado (PBD)

Ao incorporar uma taxa de desconto, o *Payback* Descontado supera a limitação do método simples. Seu modelo matemático é dado por:

$$\sum_{t=1}^{PBD} \frac{FC_t}{(1+i)^t} = 1 \quad [9]$$

Onde:

FC_t = fluxo de caixa no período t (em R\$)

i = taxa mínima requerida (em %)

I = investimento inicial (em R\$)

PBD = tempo de *payback* descontado (anos)

O PBD avalia em quantos anos o investimento inicial será recuperado considerando o custo de oportunidade do capital. Assim como no PBS, compara-se o resultado com o tempo máximo tolerado (TMT) definido pela empresa.

Em síntese, o *Payback* é um indicador complementar: o PBS fornece uma análise preliminar rápida e prática, enquanto o PBD apresenta maior rigor técnico ao incorporar o valor do dinheiro no tempo. Contudo, Lapponi (2000) ressalta que nenhum dos dois deve ser utilizado isoladamente para a seleção de projetos, mas sim em conjunto com outros indicadores financeiros, como o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

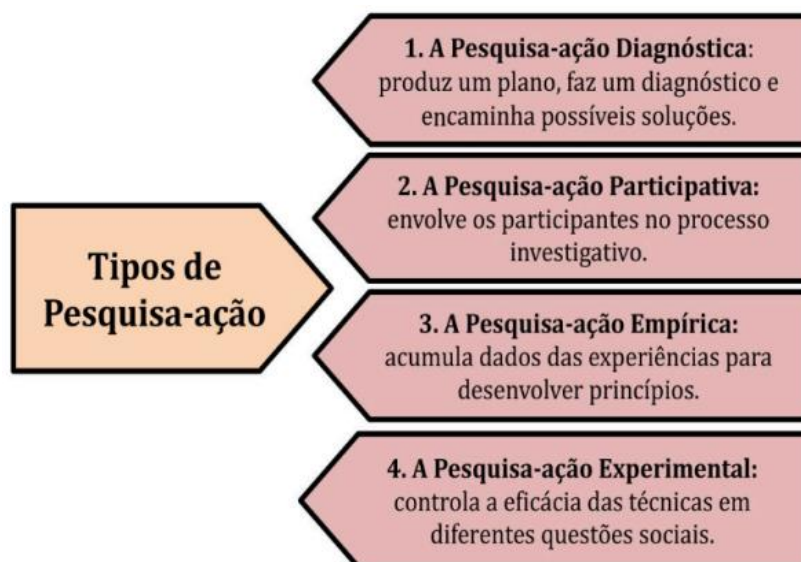
3 METODOLOGIA

3.1 TIPO DE PESQUISA

Este trabalho utilizará a pesquisa-ação como metodologia de estudo, definida por Barbier (2007) como uma forma de investigação que visa transformar a realidade por meio da articulação entre ação e reflexão crítica, fundamentada teoricamente e aplicada de forma prática em contextos concretos.

Silva, Oliveira e Ataídes (2021) na Figura 2 classificam a pesquisa-ação em 4 tipos distintos, com base nos princípios delineados por Barbier:

Figura 2 - Tipos de Pesquisa-ação segundo Barbier (2007)



Fonte: Silva, Oliveira e Ataídes (2021) com fundamento em Barbier (2007)

Dentre essas vertentes, este estudo adota a pesquisa-ação diagnóstica, por se adequar ao propósito técnico-aplicado da investigação: diagnosticar o perfil de consumo energético de uma empresa de pequeno porte e propor a implementação de um sistema fotovoltaico como forma de redução de custos operacionais.

3.2 ETAPAS DA PESQUISA

A pesquisa seguiu as etapas propostas por Barbier (2007) para a pesquisa-ação, que foram adaptadas e estruturadas para a aplicação especificamente neste estudo, conforme apresentado pelo Quadro 2.

Quadro 2 - Etapas da pesquisa-ação adotadas neste estudo

Etapa da pesquisa-ação	Função na abordagem diagnóstica	Aplicação neste estudo
1. Identificação do problema e contextualização	Delimita a situação-problema a partir de um contexto real, com escuta ativa da demanda e definição clara dos objetivos.	Identificação dos gastos com energia elétrica como oportunidade de redução dos custos operacionais na empresa estudada.
2. Planejamento e realização em espiral	Organiza as ações em ciclos, com ajustes progressivos conforme o retorno das análises e simulações realizadas.	Coleta de dados e análise do consumo elétrico, estrutura física e perfil da empresa para definição do tipo de sistema fotovoltaico a ser aplicado no estudo.
3. Aplicação de técnicas adequadas	Utiliza ferramentas práticas e adaptadas à realidade da organização para garantir diagnósticos e projeções confiáveis.	Análise dos dados obtidos para realização do cálculo energético, dimensionamento do sistema fotovoltaico e estimativas de economia e <i>payback</i> .
4. Avaliação dos resultados	Reflete sobre os impactos esperados, valida as conclusões com base técnica e organiza os resultados para tomada de decisão.	Avaliação da viabilidade técnica e econômica da proposta elaborada e o potencial impacto na redução de custos operacionais e competitividade da empresa.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Barbier (2007)

3.3 LOCAL DA PESQUISA E AUTORIZAÇÃO

A pesquisa foi realizada em uma empresa de pequeno porte localizada no município de Guarulhos – SP. A organização permitiu a utilização de dados reais para fins acadêmicos, incluindo informações técnicas e faturas de energia elétrica dos últimos doze meses, que serviram de base para o diagnóstico energético e as simulações realizadas.

A identidade da empresa foi preservada conforme acordo com a direção, respeitando os princípios de confidencialidade e uso responsável das informações corporativas.

4 APRESENTAÇÃO DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS DA EMPRESA

4.1.1 Características da Rede Elétrica e Consumo de Energia da Empresa

A primeira etapa para dimensionamento do sistema fotovoltaico se trata do levantamento das características da ligação da rede elétrica da empresa estudada, conforme apresentado no Quadro 3, além da coleta do consumo e gasto com energia em um período de 12 meses, entre os meses de fevereiro de 2024 a janeiro de 2025, apresentado na Tabela 1. Esse consumo se refere as áreas da empresa como um todo, considerando tanto a parte administrativa como a parte fabril, sendo adotado esse modelo para o estudo ao ser analisado o perfil da empresa e seu processo produtivo, ao que se refere aos seus custos operacionais.

Quadro 3 - Características da Ligação da Rede Elétrica da Empresa

Característica	Descrição
Grupo/Subgrupo	B - B3
Classe/Subclasse	Industrial
Tipo de Fornecimento	Trifásico
Modalidade Tarifária	Convencional
Tensão Nominal	220 / 127 V

Fonte: Elaborado pelo Autor

Tabela 1 - Consumo de Energia da Empresa

Mês/Ano	Consumo (kWh)	Valor da Fatura (R\$)
fev/24	12.480	11.408,98
mar/24	14.400	12.890,38
abr/24	12.280	10.839,94
mai/24	13.120	11.792,29
jun/24	12.680	10.700,53
jul/24	12.720	11.799,18
ago/24	13.440	12.146,62
set/24	13.360	12.403,13
out/24	12.680	12.776,41
nov/24	11.560	11.095,80
dez/24	13.600	12.177,24
jan/25	12.840	10.935,54

Fonte: Elaborado pelo Autor

4.1.2 Análise da Estrutura Física e Potencial de Instalação

Para avaliar a viabilidade da implantação de um sistema fotovoltaico, foi realizada uma análise preliminar da estrutura física da unidade industrial em estudo. O Quadro 4 a seguir apresenta os principais dados coletados:

Quadro 4 - Análise da Estrutura Física e Potencial de Instalação

Informação	Dado
Cobertura	Cidade de Guarulhos/SP
Tipo de Imóvel	Galpão industrial
Cobertura	Telhado metálico
Área útil disponível (para instalação de painéis solares)	408 m ²
Orientação solar	Favorável (sem sombreamento significativo)
Inclinação do telhado	Adequada para captação solar
Modalidade tarifária	Convencional (Grupo B – B3)
Espaço para inversores	Sim, disponível internamente
Acessibilidade para manutenção	Sim

Fonte: Elaborado pelo Autor

Com base nos dados apresentados, verifica-se que a empresa possui condições técnicas e estruturais favoráveis à instalação de um sistema fotovoltaico. A combinação entre espaço disponível, características do prédio e compatibilidade elétrica mostra viabilidade para implantação, com potencial para atender de forma eficiente à demanda energética do local.

4.1.3 Definição do Tipo de Sistema e Objetivo de Geração

Após a análise realizada sobre o consumo atual de energia elétrica e a estrutura física com seu potencial de instalação dos painéis solares, definiu-se que este estudo irá considerar a implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede (*on grid*), dimensionado para atender 70% da demanda média mensal de energia da empresa, aproveitando do potencial solar e área disponíveis no local.

4.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

4.2.1 Irradiação Solar Média (HSP)

De acordo com o portal PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*), da Comissão Europeia, a estimativa para a região de Guarulhos/SP é de aproximadamente 4,5 Horas de Sol Pleno (HSP) por dia, o que equivale a uma irradiação solar média diária de cerca de 4,58 kWh/m²/dia, conforme mostra a Tabela 2.

Esse valor será utilizado no estudo para o dimensionamento energético do sistema fotovoltaico, servindo como base para estimar a geração anual e avaliar a viabilidade técnica e econômica da solução proposta.

Tabela 2 - Irradiação Solar Média (HSP) em Guarulhos-SP

Mês	Irradiação Solar Média Diária (HSP) (kWh/m ² /dia)
Janeiro	5,32
Fevereiro	5,67
Março	5,05
Abril	4,38
Maio	3,56
Junho	3,25
Julho	3,59
Agosto	4,11
Setembro	4,48
Outubro	4,72
Novembro	5,27
Dezembro	5,63
Média Anual	4,58

Fonte: Elaborado pelo autor adaptado do PVGIS (2025)

4.2.2 Cálculo da Potência do Sistema (kWp)

A seguir se apresentam os cálculos para o dimensionamento da potência do sistema fotovoltaico necessário para atender a proposta para atender 70% da demanda média mensal de energia da empresa, conforme seção 2.1.4.

Com base nos dados das faturas analisadas, o consumo médio mensal da unidade é de:

$$E_{mensal} = 12.930 \text{ kWh}$$

Aplicando a fórmula:

$$E_{diaria} = \frac{E_{mensal}}{30} = \frac{12.930}{30} \approx 431 \text{ kWh/dia} \quad [1]$$

Com isso calcula-se a potência do sistema fotovoltaico, para atender 70% da demanda média diária da empresa, cabendo-se observar que está sendo considerado uma eficiência global do sistema n (*performance ratio*) de 80% para compensar perdas do sistema, conforme explicado no tópico 2.1.4.4:

$$P_{FV} = \frac{E_{diaria}}{HSP \times n} = \frac{431 \times 0,70}{4,58 \times 0,80} \approx 82,34 \text{ kWp} \quad [2]$$

Com isso conclui-se que a potência necessária estimada para o sistema fotovoltaico atender 70% do consumo diário da empresa é de aproximadamente 82,34 kWp.

4.2.3 Quantidade e Especificação dos Módulos

Para o dimensionamento do sistema, utilizou-se a potência total estimada (82,34 kWp). A quantidade de módulos foi calculada com base na potência unitária de 550 Wp (0,550 kWp), valor representativo dos módulos monocristalinos PERC, amplamente adotados no Brasil pela combinação de alta eficiência (cerca de 19%+), menor consumo de matéria-prima e custo-benefício (Canal Solar).

A fórmula aplicada é:

$$N_{modulos} = \frac{P_{FV}}{P_{modulo}} = \frac{82,34}{0,550} \approx 149,7 \quad [3]$$

Portando, serão necessários 150 módulos, arredondando para cima, garantindo cobertura completa da demanda energética prevista.

4.2.4 Escolha e Dimensionamento dos Inversores

Para garantir que a potência dos inversores seja compatível com a potência do campo fotovoltaico, aplica-se o fator de dimensionamento do inversor (FDI), conforme a NBR 16149:2013 e Pinho e Galdino (2014), sendo que o segundo cita uma FDI ideal entre 0,6 e 0,8. Neste estudo, adota-se um valor de 0,8, o que significa que a potência nominal do inversor será igual à 80% da potência instalada do sistema, buscando otimizar o desempenho em condições médias de operação.

A relação utilizada é:

$$FDI = \frac{P_{inversor}}{P_{FV}} \rightarrow P_{inversor} = FDI \times P_{FV} \quad [4]$$

Aplicação:

$$P_{inversor} = 0,8 \times 82,34 = 65,87 \text{ kW} \quad [4]$$

Com isso, a potência nominal necessária para o inversor é de 65,87 kW, podendo dessa forma ser composto por um ou mais equipamentos, pois é comum dividir essa potência em vários inversores menores para se chegar ao valor (próximo) da potência total necessária, nesse caso podendo ser por exemplo: 2 de 33 kW, ou 3 de 25 kW, sendo a escolha dependente de fatores como preço e disponibilidade no mercado do inversor. Isso será analisado posteriormente, no levantamento dos custos de instalação (seção 4.3).

4.2.5 Verificação da Área Necessária para Instalação

Considerando que cada módulo de 550 Wp encontrado no mercado em geral possui dimensões aproximadas de 2,2 m², incluindo folgas mínimas. Com base na quantidade calculada de 150 módulos, a área estimada pode ser obtida pela seguinte relação (conforme seção 2.1.4):

$$A_{necessaria} = N_{modulos} \times A_{modulo} = 150 \times 2,2 = 330 \text{ m}^2 \quad [7]$$

Portanto, a área mínima estimada para instalação do sistema é de 330 m². Este valor é compatível com a área útil disponível na cobertura do prédio da empresa, já que ela possui área de 408 m², conforme apresentado na Tabela 5. Isso também justifica a escolha da proposta da geração de 70% da demanda de consumo de energia da empresa, pois atender um valor maior, significaria a ocupação total da área da cobertura ou até mesmo a necessidade de instalações alternativas, o que aumenta o custo do projeto e pode dificultar o acesso para manutenção (no caso da cobertura).

4.3 LEVANTAMENTO DOS CUSTOS DE INSTALAÇÃO

4.3.1 Custo dos Equipamentos

O levantamento de custos para a implantação do sistema fotovoltaico considerou os principais equipamentos necessários ao projeto considerando atender a potência do sistema fotovoltaico de 82,34 kWp e as características da rede elétrica da empresa conforme apresentado no Quadro 3. Para cada item, foram pesquisados preços de mercado em fornecedores nacionais, de forma a obter uma base confiável de valores praticados, conforme mostra a Tabela 3. Nos módulos fotovoltaicos e inversores, foram levantados três modelos de referência, enquanto para os demais itens foi selecionado um modelo representativo de uso comum em sistemas industriais de médio porte.

Tabela 3 - Preços médios de referência dos equipamentos fotovoltaicos

Equipamento	Fabricante / Modelo	Preço (R\$)	Fonte
Módulo Fotovoltaico 550 Wp	Canadian Solar / CS6W-550MS	599,00	Multimaq
	Onda / ODA550-36-MH	1.099,00	Pichau
	SGV Solar / SF-M18/144550	1039,00	SGV Solar
Inversor 36kW 220V Trifásico	SAJ / R6-36K-T3-32	11.250,00	Buyers Solar
Inversor 36kW 220V Trifásico	GROWATT / 36KTL3-XL2	13.500,00	Stentor do Brasil
Inversor 35kW 220V Trifásico	DEYE / SUN-35K-G02-LV	14.925,90	One Shop Solar (via Mercado Livre)
String Box 32A 1040V CC	Clamper / PC 02/02	449,10	MinhaCasaSolar
Cabo Solar CC	Cobremack / 6 mm ² (par 5 m)	80,00	Loja Solar Brasil

Fonte: Pesquisa de Preço – Elaborado pelo Autor (2025)

Considerando os valores apresentados na Tabela 3, para fins de estimativa do custo total do sistema, foi adotado como referência o módulo Canadian Solar CS6W-550MS, por apresentar bom equilíbrio entre preço e confiabilidade de mercado. Para o inversor, foi adotado o Growatt / 36KTL3-XL2 (36kW- 220V), por ser uma marca com ampla presença encontrada no mercado e preço acessível, sendo que para se enquadrar na faixa de potência necessária, considera-se duas unidades para compor 72 kW para atender a demanda de 65,87 kW levantada no item 4.2.4 para o sistema fotovoltaico com geração de 82,34 kWp.

Dessa forma, elaborou-se a Tabela 4, onde são apresentados os custos totais dos equipamentos selecionados já multiplicados pela quantidade necessária ao sistema proposto. Para os cabos, adotou-se uma estimativa de 550 metros lineares (110 pares de 5 metros), valor considerado com base em um cálculo proporcional na quantidade de cabo que compõem kits solares completos vendidos no mercado, onde foi verificado que um kit para sistema fotovoltaico gerador de 3,72kWp possui 30 metros de pares de cabo CC (Neosolar). Cabe ressaltar que essa quantidade de cabo pode variar conforme a disposição dos módulos e a distância até os inversores.

Tabela 4 - Estimativa de custos totais dos equipamentos do sistema

Equipamento	Fabricante / Modelo	Qtde	Preço Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Módulo Fotovoltaico 550 Wp	Canadian Solar – CS6W-550MS	150	599,00	89.850,00
Inversor 36kW 220V Trifásico	GROWATT / 36KTL3-XL2	2	13.500,00	27.000,00
String Box 32A 1040V CC	Clamper / PC 02/02	2	449,10	898,20
Cabo Solar CC	Cobremack / 6 mm ² (par 5 m)	110	80,00	8.800,00
Subtotal	—	—	—	126.548,20

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Com base nos valores apresentados, o custo total estimado apenas para os principais equipamentos do sistema fotovoltaico é de aproximadamente R\$ 126.548,20. Ressalta-se que esse valor pode variar conforme condições de mercado, região, negociação com fornecedores e ajustes no dimensionamento definitivo do projeto.

4.3.2 Custo da Estrutura e Instalação

A estimativa dos custos relativos à estrutura de fixação e à instalação do sistema fotovoltaico baseou-se em metodologias encontradas na literatura especializada. De acordo com dados do Canal Solar (2024), os painéis representam cerca de 25% a 40% do valor total do projeto, enquanto o serviço de instalação (incluindo mão de obra, transporte, logística e homologação) corresponde a aproximadamente 37% do investimento total. Já o fornecedor GDFix destaca que a estrutura metálica de fixação representa cerca de 10% do valor global do sistema. Assim, essas referências servem de base para estimar os custos relativos à estrutura e à instalação, respeitando a realidade brasileira recente, conforme mostra a Tabela 5:

Tabela 5 - Estimativa de custos da estrutura e da instalação

Item	% sobre o custo de equipamentos	Estimativa de Custo (R\$)
Estrutura de fixação metálica	10%	12.654,82
Instalação (mão de obra + logística)	37%	46.822,83
Total – estrutura e instalação	—	59.477,65

Fonte: Adaptado de Canal Solar (2024) e GDFix (2021)

Com essa estimativa, o custo total das etapas de estrutura e instalação para o sistema fotovoltaico de 82,34 kWp fica em aproximadamente R\$ 59.477,65. Esse valor reflete uma prática comum de dimensionamento orçamentário e está alinhado com os percentuais citados por especialistas, devendo ser ajustado caso surjam orçamentos ou projetos executivos mais detalhados.

4.3.3 Custo Total Estimado do Projeto

A partir dos custos levantados nos itens anteriores, foi possível consolidar a estimativa do investimento necessário para a implantação do sistema fotovoltaico proposto. No item 4.3.1, o valor referente aos equipamentos principais (módulos, inversores, string box e cabos) foi de aproximadamente R\$ 126.548,20. Já no item 4.3.2, ao considerar os custos relativos à estrutura de fixação e à instalação do sistema, obteve-se uma estimativa de R\$ 59.477,65. Dessa forma, o custo total estimado para a implementação do sistema fotovoltaico com geração de 82,34 kWp é de aproximadamente R\$ 186.025,85, valor que representa a soma das duas parcelas anteriores e fornece uma visão geral do investimento necessário.

4.4 ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA

4.4.1 Geração Estimada por Mês

Com base nos cálculos dimensionais do item 4.2 e nas horas médias de sol pleno (HSP) apresentadas na Tabela 6 (dados PVGIS para Guarulhos-SP), procedeu-se à atualização da estimativa de geração mensal do sistema fotovoltaico. Considerou-se o sistema instalado com geração 82,34 kWp (150 módulos de 550 Wp) e aplicou-se um fator de desempenho médio (*Performance Ratio* – PR) de 80%, conforme prática usual em estudos de pré-viabilidade e citado anteriormente. A Tabela 6 apresenta a nova estimativa mensal resultante.

Tabela 6 - Estimativa de geração mensal (kWh) do sistema fotovoltaico

Mês	HSP (Tabela 2)	Geração Estimada (kWh) PR = 80%
Janeiro	5,32	10.864
Fevereiro	5,67	11.578
Março	5,05	10.312
Abril	4,38	8.944
Mai	3,56	7.270
Junho	3,25	6.637
Julho	3,59	7.331
Agosto	4,11	8.393
Setembro	4,48	9.148
Outubro	4,72	9.638
Novembro	5,27	10.762
Dezembro	5,63	11.497
Total	—	112.343

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Observações:

Geração Estimada calculada conforme a fórmula [5]:

$$E_{(mensal_gerado)} = P_{FV} \times HSP \times 30 \times n \quad [5]$$

$$E_{(mensal_gerado)} = 82,34 \text{ kWp} \times HSP \times 30 \times 0,80 \quad [5]$$

4.4.2 Comparação Entre Consumo e Geração

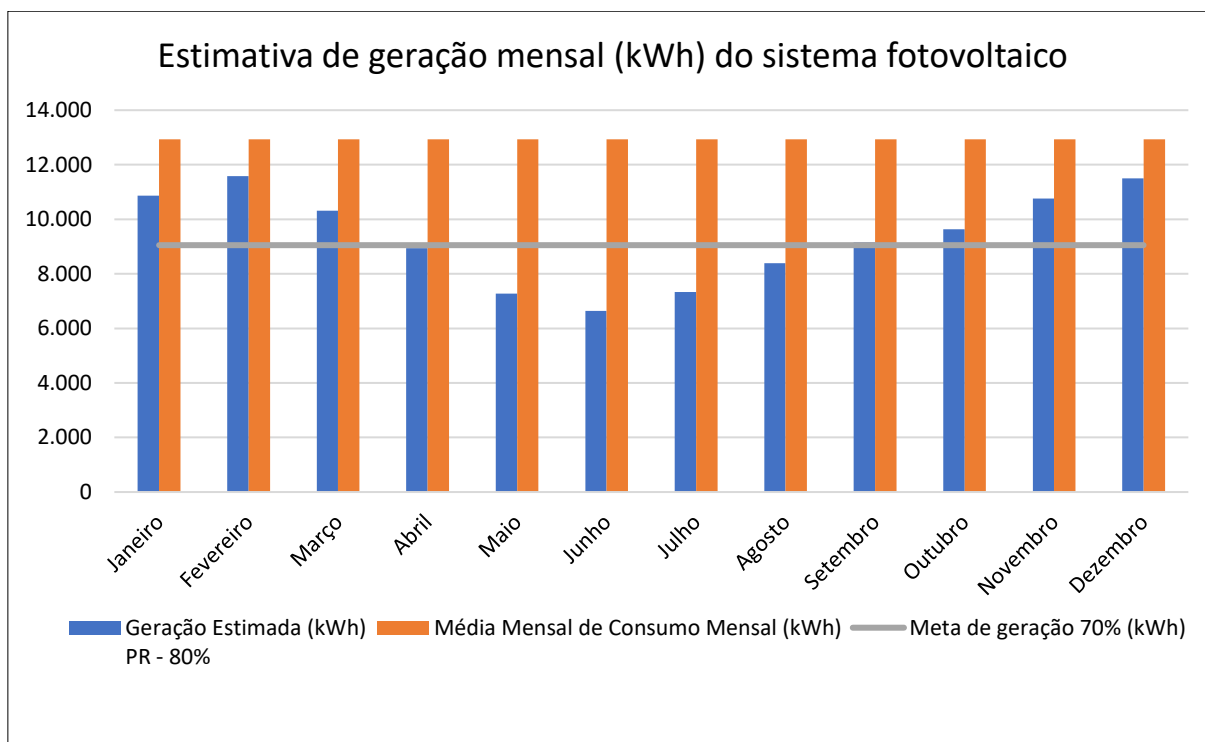
Com base no consumo médio mensal da empresa, previamente calculado em aproximadamente 12.930 kWh, a estimativa de geração mensal apresentada no item 4.4.1 e a proposta de geração de 70% do consumo médio mensal por parte do sistema fotovoltaico dimensionado, elaborou-se a Tabela 7 com a comparação entre esses três parâmetros. Em seguida demonstra-se no Gráfico 1 a relação direta entre a demanda média da empresa e a energia solar que pode ser gerada pelo sistema fotovoltaico dimensionado com a perspectiva de atender 70% dessa demanda.

Tabela 7 - Comparação Geração Estimada X Consumo Médio Mensal X Meta de Geração

Mês	Geração Estimada (kWh) PR - 80%	Média Mensal de Consumo Mensal (kWh)	Meta de geração 70% (kWh)
Janeiro	10.864	12.930	9.051
Fevereiro	11.578	12.930	9.051
Março	10.312	12.930	9.051
Abril	8.944	12.930	9.051
Maio	7.270	12.930	9.051
Junho	6.637	12.930	9.051
Julho	7.331	12.930	9.051
Agosto	8.393	12.930	9.051
Setembro	9.148	12.930	9.051
Outubro	9.638	12.930	9.051
Novembro	10.762	12.930	9.051
Dezembro	11.497	12.930	9.051
Total	112.373	155.160	108.612

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Gráfico 1 - Comparação entre Consumo Médio Mensal e Geração Estimada



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Observa-se que, a geração estimada atinge ou passa a marca dos 70% do consumo médio mensal da empresa em 8 meses, com exceção dos meses de maio a agosto, em virtude da menor disponibilidade de radiação solar no período do Inverno. Apesar disso, de modo geral para o ano como um todo, o sistema fotovoltaico dimensionado atende ao objetivo inicial de redução significativa da demanda elétrica da rede, pois ao longo do ano, o desempenho do sistema garante que a média anual se mantenha superior a expectativa de cobertura de 70% da demanda energética, conforme apontado na Tabela 6.

4.5 CÁLCULO DO PAYBACK

A análise da viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico não se limita apenas ao levantamento de custos e à estimativa de geração de energia. É fundamental verificar em quanto tempo o investimento inicial será recuperado pela economia gerada com a redução das faturas de energia elétrica. Para isso, emprega-

se o método do *Payback*, que indica o período necessário para que os fluxos de caixa positivos igualem o capital investido.

Neste estudo, optou-se pela utilização exclusiva do *Payback* Descontado (PBD), em conformidade com Lapponi (2000), por considerar o valor do dinheiro no tempo e fornecer maior rigor técnico em relação ao *Payback* Simples. A seguir, apresentam-se as etapas de cálculo.

4.5.1 Economia Financeira Mensal Estimada

Antes de calcular o retorno do investimento, é necessário estimar a economia anual proporcionada pela implantação do sistema fotovoltaico. Para isso, utilizou-se o consumo médio da empresa e os valores pagos à concessionária no período de 12 meses (Tabela 1).

O consumo médio mensal foi obtido pela média aritmética dos registros mensais:

$$E_m = \frac{12.480+14.400+12.280+13.120+12.680+12.720+13.440+13.360+12.680+11.560+13.600+12.840}{12} = 12.930 \text{ kWh/mês} \quad [10]$$

De forma análoga, obteve-se o custo médio mensal:

$$C_m = \frac{1211.408,98+12.890,38+10.839,94+11.792,29+10.700,53+11.799,18+12.146,62+12.403,13+12.776,41+11.095,80+12.177,24+10.935,54}{12} = R\$ 11.747,17/\text{mês} \quad [11]$$

A tarifa média efetiva é então calculada pela razão entre custo médio e consumo médio:

$$T_m = \frac{C_m}{E_m} = \frac{R\$11.747,17}{12.930 \text{ kWh}} = R\$ 0,9085/\text{kWh} \quad [12]$$

Como o sistema foi dimensionado para atender 70% do consumo médio anual da empresa, a energia compensada será:

$$E_{70\%} = 0,70 \times 155.160 = 108.612 \text{ kWh/ano} \quad [13]$$

Assim, a economia anual é:

$$\text{Economia Anual} = E_{70\%} \times T_m = 108.612 \times R\$ 0,9085 = R\$ 98.676,23/\text{ano} \quad [14]$$

E a economia mensal:

$$Economia Mensal = \frac{R\$ 98.676,23}{12} = R\$ 8.223,02/mês \quad [15]$$

Portanto, o sistema fotovoltaico permitirá à empresa uma redução média de aproximadamente R\$ 8,2 mil por mês em gastos com eletricidade, totalizando cerca de R\$ 98,7 mil ao ano.

4.5.2 Tempo de Retorno do Investimento

Com a economia financeira anual estimada, é possível calcular o tempo de retorno do investimento inicial de R\$ 186.025,85 (seção 4.3.3). Para isso, aplica-se o modelo do *Payback* Descontado. Segundo Reis (2019), a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) representa a remuneração mínima exigida para compensar o custo de oportunidade, o risco e a liquidez de um investimento, sendo comum adotar a Taxa Selic como referência, por refletir o rendimento de menor risco disponível na economia brasileira.

Neste estudo, adotou-se a Taxa Selic vigente no mês de outubro do ano de 2025, equivalente a 15% a.a. (IPEA, 2025) como TMA, por representar o rendimento livre de risco na economia brasileira e permitir uma análise mais realista da atratividade econômica do investimento, conforme apresentado na Tabela 8, que mostra o fluxo de caixa descontado:

$$\sum_{t=1}^{PBD} \frac{FC_t}{(1+i)^t} = I_0 \quad [9]$$

Onde:

$FC_t = R\$ 98.676,23$ (fluxo de caixa anual constante)

$i = 15\%$ a.a. (taxa mínima de atratividade)

$I_0 = R\$ 186.025,85$ (investimento inicial)

Tabela 8 - Fluxo de Caixa Descontado do Sistema Fotovoltaico Dimensionado

Fluxo de Caixa Descontado ($i = 15\% \text{ a.a.}$)			
Ano	Economia Anual (R\$)	Valor Presente (R\$)	Valor Presente Acumulado (R\$)
1	98.676,23	85.805,42	85.805,42
2	98.676,23	74.613,41	160.418,82
3	98.676,23	64.881,22	225.300,05
4	98.676,23	56.418,45	281.718,50
5	98.676,23	49.059,53	330.778,03

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

No segundo ano, o valor presente acumulado é de R\$ 160.418,82. Ainda faltam R\$ 25.607,03 para cobrir o investimento inicial de R\$ 186.025,85. No terceiro ano, o valor presente do fluxo é de R\$ 64.881,22. A fração necessária do terceiro ano é:

$$\alpha = \frac{25.607,03}{64.881,22} = 0,39 \text{ ano}$$

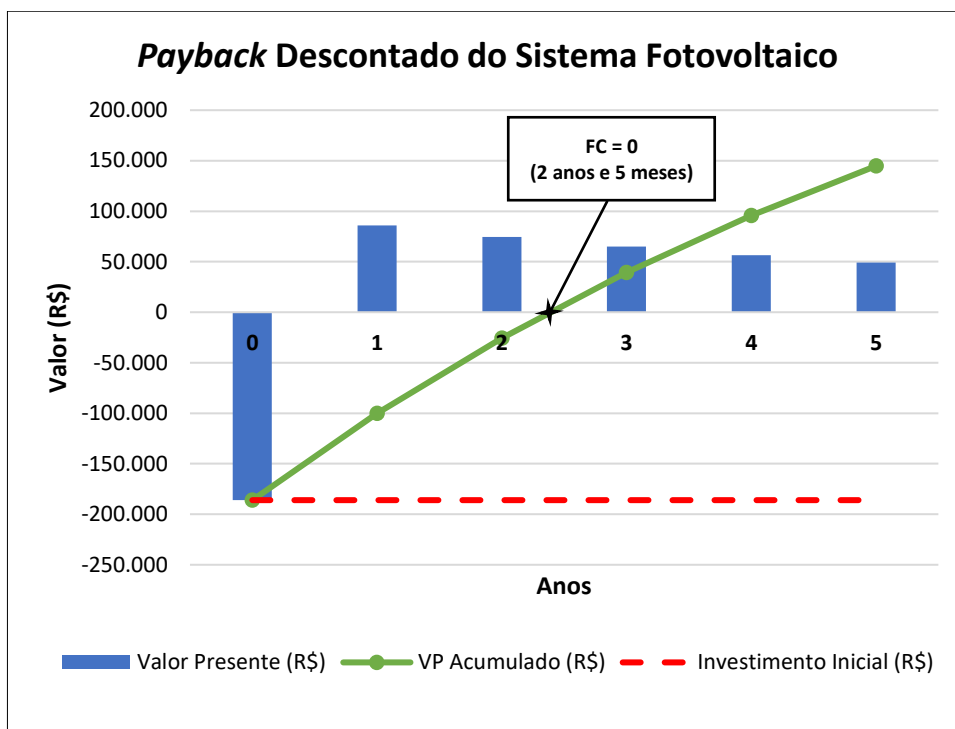
Assim, o tempo de retorno descontado é:

$$PBD = 2 + 0,39 \approx 2,4 \text{ anos}$$

$$PBD = 2 \text{ anos e } (12 \text{ meses} \times 0,4) = 2 \text{ anos e } 4,8 \text{ meses}$$

$$PBD \approx 2 \text{ anos e } 5 \text{ meses}$$

Ou seja, o tempo para retorno do investimento para o sistema fotovoltaico dimensionado de 82,34 kWp é de aproximadamente 2 anos e 5 meses. O Gráfico 2 mostra abaixo o retorno do investimento no período de 5 anos, sendo visível o ponto onde o fluxo de caixa se iguala a zero, passando a apresentar saldo positivo a partir de então.

Gráfico 2 - *Payback* Descontado do Sistema Fotovoltaico

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Estudos sobre análise de investimentos em pequenas empresas demonstram que o tempo de retorno do capital é um fator decisivo no processo de tomada de decisão. Segundo Hasan (2013), em pequenas empresas do setor manufatureiro, a maioria dos gestores considera aceitáveis apenas projetos com *payback* de até 5 anos, não sendo comum a aprovação de investimentos com prazos superiores. De forma semelhante, Gerxhaliu (2021) observou que, em empresas familiares e de pequeno porte, o período máximo de retorno de investimento tende a situar-se em torno de 5 anos, refletindo a preocupação com liquidez e a limitação de capital típica desse porte organizacional.

Dessa forma, o *payback* de aproximadamente 2 anos e 5 meses obtido neste estudo encontra-se dentro da faixa considerada ideal e segura para pequenas empresas, apresentando um retorno do investimento em prazo bastante curto, considerando que os equipamentos fotovoltaicos apresentam, conforme destacado por Dantas e Pompermayer (2018), vida útil estimada de mais de 25 anos.

4.6 PERSPECTIVAS DE REDUÇÃO DE CUSTOS OPERACIONAIS

A adoção da energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de suprimento energético projeta uma perspectiva sólida de redução dos custos operacionais da empresa analisada. Como demonstrado nos cálculos do payback descontado, o investimento inicial de R\$ 186.025,85 apresenta um tempo de retorno de aproximadamente 2 anos e 5 meses, a partir de uma economia média mensal de R\$ 8,2 mil.

Considerando a vida útil estimada do sistema, superior a 25 anos (Dantas e Pompermayer, 2018), é possível afirmar que, após o período de amortização do investimento, a empresa contará com mais de duas décadas de geração de energia praticamente gratuita, excetuando-se os custos pontuais de manutenção. Isso representa uma redução acumulada de gastos superior a R\$ 2,4 milhões ao longo do ciclo de vida do sistema, caso mantidas as atuais condições tarifárias.

O impacto dessa redução transcende o aspecto econômico direto. Ao diminuir uma das principais despesas fixas, a organização adquire maior previsibilidade em seu fluxo de caixa e maior resiliência frente a reajustes tarifários do setor elétrico. Essa estabilidade favorece o planejamento estratégico, a competitividade e a capacidade de reinvestimento em outras áreas críticas, como tecnologia, inovação e qualificação da mão de obra.

Além disso, o aproveitamento da energia solar contribui para a construção de uma imagem institucional alinhada às práticas sustentáveis, reforçando o posicionamento competitivo no mercado automotivo, cada vez mais exigente quanto a aspectos de responsabilidade socioambiental.

Portanto, as perspectivas de redução de custos operacionais evidenciam não apenas a viabilidade financeira do projeto, mas também a oportunidade de fortalecimento estratégico da empresa, ampliando sua eficiência produtiva e sua competitividade no longo prazo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo teve como propósito avaliar a viabilidade de implantação de um sistema fotovoltaico em uma empresa de pequeno porte do setor automotivo situada na cidade de Guarulhos-SP, com foco na redução de custos operacionais com energia elétrica. A aplicação da pesquisa-ação diagnóstica (Barbier, 2007) possibilitou levantar o perfil de consumo energético, dimensionar um sistema solar adequado às necessidades da empresa, estimar sua geração anual e avaliar sua viabilidade por meio de indicadores econômicos.

A análise demonstrou que o sistema projetado atende de forma consistente à demanda energética definida, apresentando resultados favoráveis. A avaliação econômico-financeira indicou que o investimento é atrativo dentro dos critérios adotados, reforçando a viabilidade do projeto para o porte e o segmento da organização estudada.

Além dos aspectos financeiros, identificaram-se benefícios estratégicos como a redução da dependência das oscilações tarifárias, o aumento da previsibilidade de custos e o fortalecimento da imagem institucional associada à sustentabilidade. Tais elementos contribuem diretamente para o posicionamento competitivo da empresa no mercado.

Dessa forma, conclui-se que a adoção do sistema fotovoltaico analisado representa uma estratégia viável e altamente benéfica, tanto do ponto de vista econômico quanto do ponto de vista organizacional e socioambiental. Para trabalhos futuros, recomenda-se ampliar a análise por meio da utilização de outros indicadores financeiros, além de explorar cenários de sensibilidade considerando possíveis variações nas tarifas de energia elétrica e nas condições de radiação solar.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Ednaldo de Ceita Vicente de. **Potencialidade da energia solar fotovoltaica no semiárido nordestino e sua relação com o desenvolvimento sustentável**. 2021. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) – Universidade Estadual da Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional, Campina Grande, PB, 2021.

ASSAF NETO, Alexandre. **Finanças corporativas e valor**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2014

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16149:2013**

BARBIER, Rene. **A pesquisa-ação**. Brasília, DF: Liber Livro Editora, 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Brasil bate recorde de expansão da energia solar em 2023**. Brasília: MME, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-bate-recorde-de-expansao-da-energia-solar-em-2023>. Acesso em: 17 maio 2025.

CANAL SOLAR. **Painel solar PERC: o que é e quais as vantagens?** Campinas: Canal Solar, 2022. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/painel-solar-perc-o-que-e-e-quais-as-vantagens/>. Acesso em: 16 jun. 2025.

CANAL SOLAR. **Valor da energia solar: quanto custa em média a instalação?** Canal Solar, 12 ago. 2024. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/valor-da-energia-solar/>. Acesso em: 28 ago. 2025.

CAVALCANTE, Jaqueline Martinelli. **Sustentabilidade & competitividade na indústria automotiva**. 2014. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade São Francisco, Campinas, 2014. Disponível em: <https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/2619.pdf>. Acesso em: 17 maio 2025.

CRESESB – Centro de Referência para as Energias Sustentáveis do Brasil. **Centro de Referência para as Energias Sustentáveis do Brasil**. São Paulo: CRESESB, 2006. Disponível em: <https://cresesb.cepel.br/>. Acesso em: 28 abr. 2025.

DANTAS, Stefano Giacomazzi; POMPERMAYER, Fabiano Mezadre. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. Rio de Janeiro: Ipea, 2018. (Texto para Discussão, n. 2388).

DASSI, Rafaela Longui Corrêa; CORRÊA, Daiane Brum; SCHEER, Vanessa. **Energia solar: uma análise de viabilidade econômico-financeira**. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/11338/7364/1/TCC%20Rafaela%20Longui%20Correa.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2025.

EUROPEAN COMMISSION. **Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)**. 2025. Disponível em: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html. Acesso em: 07 abr. 2025.

FRAUNHOFER ISE. **Photovoltaics Report, Maio 2025**. Relatório técnico. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. Acesso em: 7 set. 2025.

GDFIX. **Você sabia que estruturas representam 10% do investimento para instalação de energia solar?** Blog GDFix, 7 jun. 2021. Disponível em: <https://www.gdfix.com.br/blog/313/voce-sabia-que-estruturas-representam-10-do-investimento-para-instalacao-de-energia-solar>. Acesso em: 28 ago. 2025.

GERXHALIU, Zgjim. **Family Businesses, Small Firms, and Capital Budgeting Techniques**. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, School of Business and Economics, 2021. Dissertação (Mestrado em Economia e Gestão). Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/138435/1/2021-22_fall_39698_zgjim-gerxhaliu.pdf. Acesso em: 8 nov. 2025.

HASAN, Mahmudul. **Capital Budgeting Techniques Used by Small Manufacturing Companies**. *Open Journal of Business and Management*, v. 1, n. 1, p. 1-10, 2013. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=28840>. Acesso em: 8 nov. 2025.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/repositorio/>. Acesso em: 07 abr. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Taxa de juros – Selic (ao ano): série histórica mensal**. Brasília: IPEA, 2025. Disponível em: <https://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?module=M&serid=1693286996>. Acesso em: 8 out. 2025.

INTELBRAS. **Diferenças entre os sistemas on grid e off grid de energia solar**. 2022. Disponível em: <https://blog.intelbras.com.br/diferencas-entre-os-sistemas-on-grid-e-off-grid-de-energia-solar/>. Acesso em: 28 abr. 2025.

KROTH, Geóvio; RAMPINELLI, Giuliano Arns. **Análise de indicadores de desempenho de um sistema fotovoltaico com distintos fatores de dimensionamento de inversor e diferentes ângulos azimutais**. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR – CBENS, 8., 2020, Fortaleza. Anais [...]. Fortaleza: ABENS, 2020. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/download/835/835>. Acesso em: 7 set. 2025.

LAPPONI, João Carlos. **Projetos de investimento: construção e avaliação do fluxo de caixa**. São Paulo: Atlas, 2000.

LIMA, Ariane A. et al. **Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 42, e20190191, 2020. Disponível

em: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0191>. Acesso em: 03 maio 2025.

LUZ SOLAR. **Como funciona o sistema fotovoltaico?** Disponível em: <https://luzsolar.com.br/como-funciona-o-sistema-fotovoltaico/>. Acesso em: 08 jun. 2025.

MARINOSKI, Deivis Luis.; SALAMONI, Isabel Tourinho; RÜTHER, Ricardo. **Pré-dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**. UFSC, 2004.

MARQUES, Rubéria Caminha; KRAUTER, Stefan C. W.; LIMA, Lutero C. de. **Energia solar fotovoltaica e perspectivas de autonomia energética para o Nordeste brasileiro**. Revista Tecnologia, Fortaleza, v. 30, n. 2, p. 153–162, dez. 2009.

MARTINS, Eliseu. **Contabilidade de custos**. 10. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MINHA CASA SOLAR. Disponível em: <https://www.minhacasasolar.com.br/>. Acesso em: 28 ago. 2025.

NEOSOLAR. **Kit Híbrido Deye 3,72 kWp + Bateria Solar Lítio 100Ah**. Disponível em: https://www.neosolar.com.br/loja/kit-hibrido-deye-3-72-kwp-bateria-solar-litio-100ah-26645.html?msclkid=426c27d52d301b18c6514f6884391cc1&utm_source=bing&utm_medium=cpc&utm_campaign=B%20-%20%5BPM%5D%20Todos%20os%20produtos&utm_term=2334675503472214&utm_content=Perene. Acesso em: 7 set. 2025.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB, 2014. 528 p. Disponível em: https://cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 3 maio 2025.

PORTAL SOLAR. **Tipos de energia solar: quais são, como funcionam e qual a melhor**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-energia-solar.html>. Acesso em: 29 mar. 2025.

PORTAL SOLAR. **Valor da energia solar: quanto custa para instalar energia solar?** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/quanto-custa-para-instalar-energia-solar.html>. Acesso em: 29 mar. 2025.

REINOVA SOLUÇÕES. **Preço da energia solar: conheça os fatores que influenciam no valor pago por você**. Disponível em: <https://reinovasolucoes.com.br>. Acesso em: 29 mar. 2025.

REIS, Rodrigo. **Taxa mínima de atratividade (TMA): o que é, como calcular e qual usar?** Suno Research, 2019. Disponível em: <https://www.suno.com.br/artigos/taxa-minima-de-atratividade/>. Acesso em: 8 out. 2025.

RIBEIRO, Miriam da Silva. **Concepção e dimensionamento básico de um sistema fotovoltaico**. USP, 2018.

RODRIGUES, Júlia Rélene de Freitas; SOARES, Ilton Araújo; CARVALHO, Rodrigo Guimarães de; LUNARDI, Diana Gonçalves. **Análise geoespacial das instalações de painéis solares fotovoltaicos em municípios do semiárido do Nordeste do Brasil**. Revista de Geografia (Recife), v. 40, n. 1, p. 258–281, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2023.256664>. Acesso em: 03 maio 2025.

ROEDEL, Tamily; MAFRA, Gustavo. **Viabilidade econômica da implantação de um sistema de energia solar fotovoltaico: estudo de caso em uma escola de idiomas, de Brusque – SC**. Revista Tecnologia e Sociedade, Curitiba, v. 15, n. 37, p. 612–634, jul./set. 2019.

SANTOS, Leonardo Wanderley. **Projeto e Viabilidade de um Sistema Fotovoltaico Residencial com 3,3 kW em Indaiatuba (SP)**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: https://gesep.ufv.br/wp-content/uploads/2023/04/Leonardo_final.pdf. Acesso em: 16 jun. 2025.

SEBRAE. **Energia tem impacto de até 20 % nos custos do pequeno negócio**. 28 mar. 2023. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/energia-tem-impacto-de-ate-20-nos-custos-do-pequeno-negocio,c8d89532cc417810VgnVCM1000001b00320aRCRD>. Acesso em: 08 jun. 2025.

SILVA, Anair Araújo de Freitas; OLIVEIRA, Guilherme Saramago de; ATAÍDES, Fernanda Barros. **Pesquisa-ação: princípios e fundamentos**. Revista Prisma, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 2–15, 2021.

TORELLI, Gabriel. **Eficiência energética em pequenas indústrias: estratégias de baixo custo objetivando aumento de produtividade**. Monografia (MBA em Gestão Empresarial), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ; ELETROBRÁS/PROCEL. **Eficiência energética: teoria e prática**. Universidade Federal de Itajubá; Eletrobrás/PROCEL, 2007. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/uploads/arquivos/Eficiencia_energetica_Teoria_e_pratica.pdf. Acesso em: 17 maio 2025.

URSULINO, Iury Matheus de Lira. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico utilizando PVSYST: estudo de caso real de cliente do grupo A**. João Pessoa: Instituto Federal da Paraíba, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/bitstream/177683/4230/1/Dimensionamento%20de%20um%20sistema%20fotovoltaico%20utilizando%20PVSYST%20-%20Iury%20Matheus%20de%20Lira%20Ursulino.pdf>. Acesso em: 03 maio 2025.