



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE QUIXADÁ
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

ANDERSON SILVA SOUZA

**FERRAMENTA WEB PARA CALCULAR O DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO ON-GRID**

QUIXADÁ

2023

ANDERSON SILVA SOUZA

FERRAMENTA WEB PARA CALCULAR O DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO ON-GRID

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de Compu-
tação do Campus de Quixadá da Universidade
Federal do Ceará.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Werley
Bandeira da Silva

QUIXADÁ

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

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

S713f Souza, Anderson Silva.
Ferramenta WEB para calcular o dimensionamento de um sistema fotovoltaico on-grid / Anderson Silva Souza. – 2023.
63 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, Curso de Engenharia de Computação, Quixadá, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Thiago Werley Bandeira da Silva.

1. Sistemas fotovoltaicos on-grid. WEB. Dimensionamento de sistemas fotovoltaico. Energia solar.. I.
Título.

CDD 621.39

ANDERSON SILVA SOUZA

FERRAMENTA WEB PARA CALCULAR O DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO ON-GRID

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de Compu-
tação do Campus de Quixadá da Universidade
Federal do Ceará.

Aprovada em: 24/11/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Thiago Werley Bandeira da
Silva (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Me. Marcelo Martins da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antônio Joel Ramiro de Castro
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Me. Leonardo Torres Marques
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

A Deus e a minha família

AGRADECIMENTOS

Gostaria, em primeiro lugar, de expressar minha gratidão a Deus por conceder-me saúde, sabedoria e fortaleza para enfrentar todo o processo de graduação.

Agradeço imensamente à minha família: minha mãe, Maria Nanci da Silva; meu pai, José de Souza; e meu irmão, Andreazo Silva Souza, pelo apoio ao longo da minha jornada acadêmica.

Meus agradecimentos também ao meu orientador, Thiago Werley Bandeira da Silva, por aceitar contribuir com meu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Sua paciência, disposição para esclarecer minhas dúvidas e amizade durante este período foram inestimáveis.

Agradeço, ainda, aos meus amigos de faculdade, especialmente a Samuel Henrique e Pedro Botelho, pelo companheirismo e colaboração em nossos trabalhos em equipe. Nossa amizade vai além do âmbito acadêmico.

A Universidade me proporcionou momentos de alegria e agradeço também a cada um de vocês (Erick Silva, Gabriel Moreira, Antônio César, Thiago Werley, Larissa Matos, Abdul-Hamid, Rafael Gonçalves, José Batista, David Machado, David Melo, Paula Feitosa, Itálo Moraes, Imário Almeida e Elias Frota) por vivenciar bons momentos.

Agradeço aos meus professores por todo conhecimento repassado e apoio durante este período.

“Mil poderão cair ao teu lado, e dez mil à tua direita; mas tu não serás atingido.”

(Salmo 91:7)

RESUMO

O Brasil é reconhecido como um país com uma das tarifas de energia elétrica mais elevadas do mundo, onde aproximadamente 25% do orçamento das famílias brasileiras são destinados ao pagamento dessa despesa. O presente trabalho serve de artefato para a viabilidade da adoção de sistemas de energia solar fotovoltaica como uma solução acessível, segura e duradoura para reduzir os custos com energia elétrica. Com esse propósito, apresentamos uma ferramenta *WEB* para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos residenciais conectados à rede elétrica (*On-Grid*). Por meio dessa ferramenta *WEB*, será possível determinar a quantidade de painéis solares e a potência do inversor com base nas características específicas da residência, como dimensão e localização geográfica. Além disso, foi realizado uma análise minuciosa do tempo necessário para obter o retorno do investimento, utilizando o cálculo do *payback*. Assim, as seguintes etapas foram realizadas: elicitação de requisitos, criação de protótipos das telas, implementação da ferramenta *WEB*, análise de consumo e análise do retorno do valor investido. Por meio dessas etapas, foi possível fornecer aos usuários uma ferramenta, capaz de realizar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial, levando em consideração suas necessidades individuais e fornecendo uma estimativa dos custos envolvidos. A ferramenta implementada foi capaz de realizar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para uma residência com consumo médio mensal de 360,33kWh. Sendo assim, a potência de pico do sistema fotovoltaico calculada pela ferramenta foi de 2,51kWp com um inversor de 3012W de potência. A ferramenta também fez o cálculo do *payback* do investimento e, como resultado, o *payback* ocorrerá em torno de 11 a 12 anos. Concluindo, este trabalho representa um importante avanço no cenário da energia solar fotovoltaica no Brasil, ao oferecer uma ferramenta prática para dimensionar sistemas residenciais. A economia e a eficiência energética proporcionadas por essa tecnologia podem contribuir significativamente para a redução dos gastos das famílias brasileiras com energia elétrica, ao mesmo tempo em que promove a utilização de fontes limpas e sustentáveis. É um passo crucial na direção de um futuro mais sustentável e economicamente viável para o país.

Palavras-chave: sistemas fotovoltaicos on-grid; web; dimensionamento de sistemas fotovoltaico; energia solar.

ABSTRACT

Brazil is recognized for having one of the highest electricity tariffs in the world, with approximately 25% of Brazilian families' budgets allocated to this expense. This work serves as an artifact for the feasibility of adopting photovoltaic solar energy systems as an affordable, safe, and durable solution to reduce electricity costs. To achieve this goal, we present a WEB tool for sizing residential photovoltaic systems connected to the electrical grid (On-Grid). Through this WEB tool, it will be possible to determine the quantity of solar panels and the inverter power based on specific residence characteristics such as size and geographical location. Additionally, a thorough analysis of the time required to obtain a return on investment was conducted using the payback calculation. Thus, the following steps were performed: requirements elicitation, creation of screen prototypes, implementation of the web tool, consumption analysis, and analysis of the return on the invested amount. Through these steps, it was possible to provide users with a tool capable of sizing a residential photovoltaic system, taking into account their individual needs and providing an estimate of the associated costs. The implemented tool successfully sized a photovoltaic system for a residence with an average monthly consumption of 360.33 kWh. Therefore, the calculated peak power of the photovoltaic system by the tool was 2.51 kWp with an inverter power of 3012 W. The tool also calculated the payback period, and as a result, the payback is expected to occur in around 11 to 12 years. In conclusion, this work represents a significant advancement in the Brazilian photovoltaic solar energy scenario by offering a practical tool for sizing residential systems. The economy and energy efficiency provided by this technology can contribute significantly to reducing Brazilian families' expenses on electricity, while promoting the use of clean and sustainable sources. It is a crucial step toward a more sustainable and economically viable future for the country.

Keywords: On-grid Photovoltaic Systems; WEB; Photovoltaic System Sizing; Solar Energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Célula Fotovoltaica de Silício Cristalizado do Tipo Policristalino	20
Figura 2 – Junção P-N de uma Célula Fotovoltaica	21
Figura 3 – Diferença Entre Célula (a), Painel (b) e Arranjo Fotovoltaico (c)	22
Figura 4 – Painel do Tipo Monocristalino	23
Figura 5 – Curva Característica Corrente-Tensão e Curva de Potência P-V Para um Módulo Com Potência Nominal de 100Wp	24
Figura 6 – Inversor Solar Growatt	25
Figura 7 – Componentes Básicos de um Sistema Fotovoltaico <i>On-Grid</i>	26
Figura 8 – Funcionamento do <i>Net Metering</i>	28
Figura 9 – Criando um Simples Componente Funcional em <i>React</i>	32
Figura 10 – Fluxo Metodológico	39
Figura 11 – Arquitetura de Alto Nível da Aplicação <i>WEB</i>	41
Figura 12 – Diagrama de Caso de Uso Com as Interações do Usuário com a Ferramenta	45
Figura 13 – Tela de Cadastro	46
Figura 14 – Tela de Coordenadas Geográficas do Local	47
Figura 15 – Tela do Perfil de Consumo	48
Figura 16 – Tela Com o Modal Para o Usuário Inserir Manualmente Quais Equipamentos Deseja Incluir Em Seu Dimensionamento.	48
Figura 17 – Tela Com as Perdas do Sistema	49
Figura 18 – Resultado do Dimensionamento	50
Figura 19 – Fluxo Para Obter a Irradiância Solar	51
Figura 20 – Fluxo para obter a irradiância solar	51
Figura 21 – Representação em Gráfico do Histórico da Fatura de Energia Elétrica	52
Figura 22 – Etapa de Cadastro	53
Figura 23 – Etapa de Coordenada Geográficas do Local	54
Figura 24 – Etapa do Perfil de Consumo	55
Figura 25 – Etapa de Perdas do Sistema	56
Figura 26 – Etapa de Resultados	57
Figura 27 – Etapa de Resultados Com o <i>Link</i> para uma Planilha com a Análise Financeira do <i>Payback</i>	58
Figura 28 – Planilha com a Análise Financeira do <i>Payback</i>	59

Figura 29 – Valores de Orçamento e Taxa Empregada Para Projetar o Aumento Anual do
Preço da Tarifa Elétrica 59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Histórico da Fatura de Energia Elétrica	52
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparação Dos Trabalhos Relacionados Com o Trabalho Proposto	38
--	----

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>GW</i>	Gigawatts
<i>Si</i>	Silício
<i>Ge</i>	Germânio
<i>GaAs</i>	Arseneto de Gálio
<i>W_p</i>	Potência elétrica de pico
η	Eficiência
<i>kWh</i>	Quilowatts-hora
<i>W</i>	Watts

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos	18
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo Geral</i>	<i>18</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos Específicos</i>	<i>18</i>
1.2	Organização do Trabalho	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEORICA	19
2.1	Efeito Fotovoltaico	19
2.2	Painel Solar	21
<i>2.2.1</i>	<i>Silício Monocristalino</i>	<i>22</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Características Elétrica dos Módulos</i>	<i>23</i>
2.3	Inversor Solar	25
2.4	Sistema Fotovoltaico <i>On-Grid</i>	26
<i>2.4.1</i>	<i>Sistemas de Microgeração Fotovoltaica</i>	<i>27</i>
<i>2.4.2</i>	<i>Net Metering</i>	<i>27</i>
2.5	Cálculos do Dimensionamento	28
<i>2.5.1</i>	<i>Levantamento do Consumo de Energia da Residência</i>	<i>28</i>
<i>2.5.2</i>	<i>Determinando a Quantidade de Painéis Solares</i>	<i>29</i>
<i>2.5.3</i>	<i>Determinando o Inversor</i>	<i>30</i>
2.6	Ferramenta <i>WEB</i>	31
<i>2.6.1</i>	<i>React.js</i>	<i>31</i>
2.7	<i>Payback</i>	33
3	TRABALHOS RELACIONADOS	34
3.1	Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Residencial Conectado à Rede de Energia Elétrica	34
3.2	Sizing Stand-Alone Systems “Photovoltaic/Battery” using PVSYST Software with Domestic Variable Demand	35
3.3	Study and Sizing of Stand-Alone Photovoltaic System Using PVsyst Software	35
3.4	Development Of A Solar Photovoltaic System-Sizing Application For Zimbabwe	37

3.5	Trabalho Proposto	37
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	39
4.1	Elicitação dos Requisitos	39
4.2	Criação dos Protótipos das Telas	40
4.3	Implementação da Ferramenta <i>WEB</i>	40
4.4	Análise do Consumo da Residência	41
4.5	Efetuar o Dimensionamento e a Análise Financeira do Investimento Por Meio da Utilização da Ferramenta <i>WEB</i>	41
5	RESULTADOS	43
5.1	Elicitação de requisitos	43
5.2	Criação dos Protótipos das Telas	45
5.3	Implementação da Ferramenta	50
5.3.1	<i>Obter à Média de Irradiância Solar do Local</i>	50
5.3.2	<i>Realizar o Cálculo do Dimensionamento</i>	51
5.4	Análise do Consumo da Residência	52
5.5	Efetuar o Dimensionamento do Projeto Com a Ferramenta	53
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	60
	REFERÊNCIAS	61
	ANEXOS	62
	ANEXO A –<i>DATASHEET</i> DO PAINEL FOTOVOLTAICO CANADIAN SOLAR	63

1 INTRODUÇÃO

De acordo com um estudo em Origo (2022), o Brasil tem a segunda tarifa de energia elétrica mais cara do mundo. Além disso, a pesquisa também destaca que cerca de 25% de todo o orçamento das famílias brasileiras são destinados para o pagamento dessa despesa. Nesse mesmo estudo, segundo a Associação dos Grandes Consumidores Industriais de Energia e de Consumidores Livres (ABRACE), o Brasil registrou aumento da tarifa de energia elétrica equivalente a 47% nos últimos 5 anos, ficando somente atrás da Colômbia no *ranking* das contas mais caras.

Segundo BlueSol (2022a), a tarifa de energia elétrica já representa um dos principais gastos mensais para 67% dos brasileiros, e 7 em cada 10 pessoas abriram mão de outras compras para poderem arcar com os custos da tarifa de energia elétrica. Diante da situação atual da demanda de energia e o aumento do preço na sua geração, que por consequência, aumenta a fatura da energia elétrica, contribuiu para um crescimento na procura de formas alternativas e mais baratas de se gerar energia. A conta de luz muito alta é uma antiga conhecida dos milhões de consumidores de energia elétrica do Brasil, porém uma solução barata, segura e com mais de 25 anos de vida útil já está disponível para quem busca contornar essa situação: os sistemas de energia solar fotovoltaica (BlueSol, 2022a). Diante desse contexto, surge a seguinte questão de pesquisa: *“como a adoção de um sistema fotovoltaico pode ser vantajoso para quem busca economizar na conta de luz?”*. Respondendo à pergunta de pesquisa, conforme ilustrado na Figura 28, foi possível identificar uma economia anual crescente, e a partir do décimo segundo ano, o sistema fotovoltaico instalado passa a gerar lucros para o cliente. Desta maneira, torna-se evidente que os sistemas fotovoltaicos apresentam vantagens para aqueles que buscam economizar nas despesas com energia elétrica.

O Brasil é um dos países privilegiados pela alta incidência de radiação solar em grande parte do ano (Boreal, 2016). A energia elétrica gerada pelos painéis fotovoltaicos estão se tornando uma excelente opção em virtude da grande preocupação mundial com a preservação do meio ambiente e também com o alto custo da conta de luz. Segundo Pereira *et al.* (2017), a energia solar é uma das alternativas energéticas mais promissoras para os desafios deste milênio.

Estima-se que, em um ano, a Terra recebe de energia pelos raios solares, o equivalente a 10.000 vezes o consumo mundial de energia no mesmo período (Carlos, 2009). Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), a energia solar fotovoltaica atingiu 23,9 Gigawatts de capacidade instalada no Brasil, ultrapassou a energia eólica que tem

possuí 23,8 Gigawatts e se tornou a segunda maior fonte de geração do Brasil. O mercado voltado para instalação de painéis solares começou de fato no Brasil em 2012 com a Resolução Normativa 482 de 2012 que é responsável por criar as regras da geração distribuída. Com início da resolução, a geração da energia solar passou a tornar-se viável para os brasileiros, que desde então podem conectar o sistema à rede de distribuição e gerar créditos solares a partir do excedente de energia gerado pelo sistema fotovoltaico (Portal, 2021).

Certamente, a energia solar pode ser utilizada nos mais diversos contextos, fornecendo energia elétrica para aparelhos eletrônicos e iluminação de modo geral: dos eletrodomésticos às máquinas industriais (Intelbras, 2023). A energia solar é acessível para residências, há inclusive, linhas de crédito específicas, que possibilitam o investimento nessa tecnologia. Além de valorizar o imóvel, ter um sistema fotovoltaico em casa pode reduzir consideravelmente a conta de luz, o que é um alívio no orçamento doméstico (Intelbras, 2023). No entanto, de acordo com Balfour *et al.* (2016), os sistemas fotovoltaicos têm um custo de aquisição e instalação elevado. Entretanto, a maioria dos usuários da energia fotovoltaica descobre que o custo é recuperado na economia de energia em um período de cinco a dez anos. A partir desse relato, a problemática deste trabalho é: *“como projetar um sistema de painéis fotovoltaicos para adquirir redução no consumo de energia com um orçamento baseado na dimensão e localização da residência?”*.

Dessa forma, visando reduzir os gastos com a tarifa de energia elétrica, presumi-se a seguinte hipótese: *“uma ferramenta para realizar o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos residencial, proporciona uma análise do investimento necessário, para que se obtenha uma redução na tarifa elétrica”*. É importante salientar a opção pela utilização de uma ferramenta *WEB*, visando evitar que o usuário necessite instalar a ferramenta em seu computador pessoal, caso fosse uma aplicação *desktop*. Uma ferramenta *WEB* proporciona acesso global, possibilitando seu acesso a qualquer momento e lugar, desde que haja conectividade à internet. Essa característica confere aos usuários uma maior flexibilidade ao realizar o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos em diversos dispositivos, tais como computadores, *tablets* ou *smartphones*.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma ferramenta *WEB* para dimensionar um sistema fotovoltaico residencial e realizar uma análise de quanto tempo será necessário para o retorno do investimento.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Elicitar requisitos;
- Criar os protótipos;
- Desenvolver a ferramenta;
- Analisar o consumo da residência;
- Efetuar o dimensionamento baseado no consumo da residência;
- Calcular o *payback* do investimento.

1.2 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

- Capítulo 2 contém a fundamentação teórica;
- Capítulo 3 contém os trabalhos que se assemelham ao presente trabalho;
- Capítulo 4 contém a metodologia com o passo a passo para o desenvolvimento deste trabalho;
- Capítulo 5 contém os resultados obtidos com este trabalho;
- Capítulo 6 contém a conclusão e trabalho futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

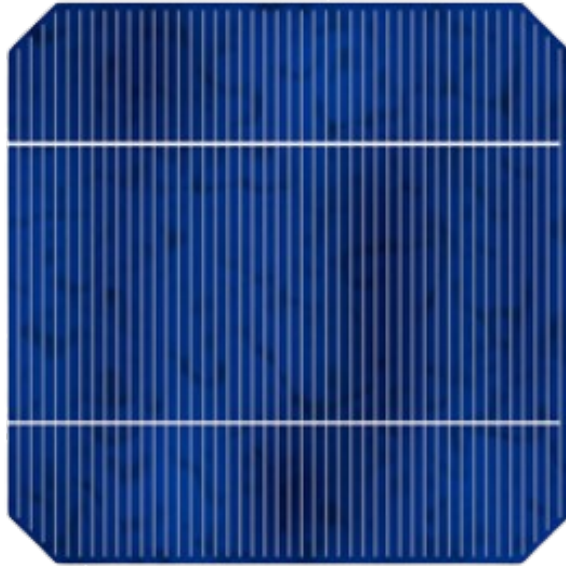
Neste capítulo, são apresentados os conceitos fundamentais para o entendimento deste trabalho. Na Seção 2.1 introduz-se o efeito responsável pela geração de energia elétrica a partir da luz solar. Na Seção 2.2 aborda-se do que os painéis solares são constituídos, assim como uma análise de suas características elétricas. Na Seção 2.3 trata-se o que é o inversor, um dos componentes mais importantes de um sistema fotovoltaico. Na Seção 2.4 aborda-se o sistema fotovoltaico *On-Grid*, classifica um sistema fotovoltaico de acordo com sua geração e também discute o conceito de *Net-Metering*. Na Seção 2.5 aborda-se os cálculos utilizados para obter o consumo da residência, dimensionar a quantidade de painéis solares e determinar o melhor inversor que atenda ao projeto. Na Seção 2.6 introduz-se o que é uma ferramenta *WEB*. Na Seção 2.7 aborda-se o cálculo do *payback*, que é realizado para a análise do retorno do investimento do sistema fotovoltaico.

2.1 Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico foi descoberto por Becquerel em 1839, quando observou que ao iluminar uma solução ácida, surgia uma diferença de potencial entre os eletrodos imersos nessa solução (Pinho *et al.*, 2014). Em 1876, W. G. Adams e R. E. Day observaram efeito semelhante em um dispositivo de estado sólido fabricado com selênio. Os primeiros dispositivos que podem ser chamados de células solares ou células fotovoltaicas foram fabricados em selênio e desenvolvidos por C. E. Frits em 1883 (Pinho *et al.*, 2014). Nos anos 1950, ou seja, mais de 110 anos após a descoberta de Becquerel, foram fabricadas nos Laboratórios Bell, nos Estados Unidos, as primeiras células fotovoltaicas baseadas nos avanços tecnológicos na área de dispositivos semicondutores (Pinho *et al.*, 2014).

As células fotovoltaicas, conforme ilustrado na Figura 1, são fabricadas com material semicondutor. De acordo com Boylestad e Nashelsky (1984), os semicondutores são uma classe especial de elementos cuja condutividade está entre a de um bom condutor e a de um isolante. Os 3 semicondutores mais frequentemente usados na construção de dispositivos eletrônicos são Germânio (Ge), Silício (Si) e o Arseneto de Gálio (GaAs) (Boylestad; Nashelsky, 1984).

Figura 1 – Célula Fotovoltaica de Silício Cristalizado do Tipo Policristalino

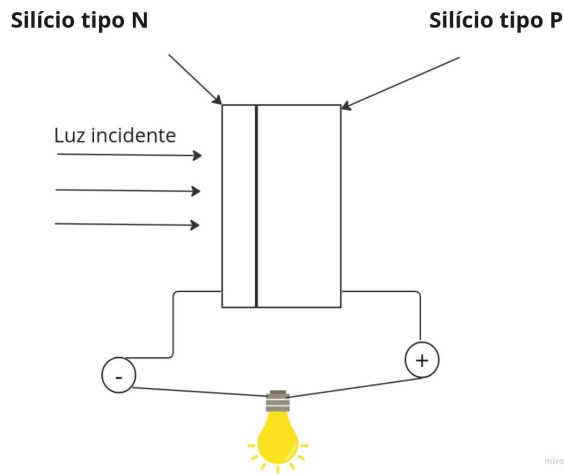


Fonte: (BlueSol, 2022b)

O Silício apresenta-se normalmente como areia, e por meio de métodos adequados obtém-se o Silício em forma pura. O cristal de Silício puro não possui elétrons livres e, portanto é mal condutor elétrico. Para alterar isto acrescentam-se porcentagens de outros elementos. Este processo denomina-se dopagem. A dopagem do Silício com o fósforo obtém-se um material com elétrons livres ou materiais com portadores de carga negativa (Silício tipo N) (Olivati, 2000).

Realizando o mesmo processo, mas agora acrescentado Boro em vez de Fósforo, obtém-se um material com características inversas, ou seja, falta de elétrons ou material com cargas positivas livres (Silício tipo P). Cada célula solar compõe-se de camada fina de material tipo N e outra com maior espessura de material tipo P, conforme é ilustrado na Figura 2 (Olivati, 2000).

Figura 2 – Junção P-N de uma Célula Fotovoltaica



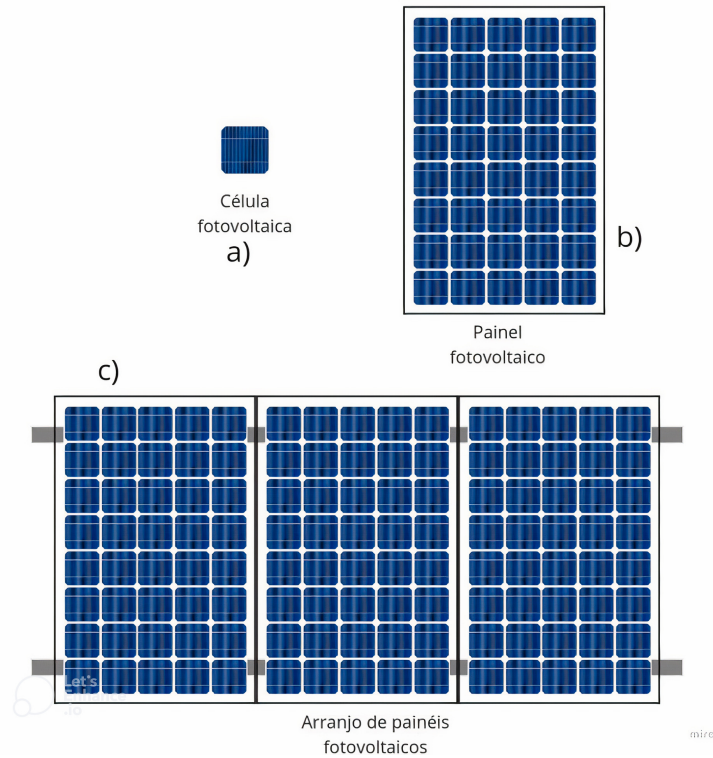
Fonte: Próprio Autor

Separadamente, ambas as partes são eletricamente neutras mas ao serem unidas, na região P-N, forma-se um campo elétrico devido aos elétrons livres do Silício tipo N que ocupam os vazios da estrutura do Silício tipo P. Ao incidir luz sobre a célula fotovoltaica, os fótons chocam-se com outros elétrons da estrutura do Silício fornecendo-lhes energia e transformando-os em condutores, ou seja, é possível a passagem de corrente livremente. Devido ao campo elétrico gerado pela junção P-N, os elétrons são orientados e fluem da camada “P” para a camada “N” (Olivati, 2000).

2.2 Painel Solar

A célula fotovoltaica é a unidade mais básica dispositivo fotovoltaico. Uma célula sozinha produz pouca eletricidade, então várias células são agrupadas para produzir painéis, placas ou módulos fotovoltaicos (Pinho *et al.*, 2014). O arranjo fotovoltaico é o conjunto de painéis fotovoltaicos interligados eletricamente e montados de modo a formar uma única estrutura. Na Figura 3 é ilustrado a diferença entre célula fotovoltaica (a), painel fotovoltaico (b) e arranjo de painéis fotovoltaicos(c).

Figura 3 – Diferença Entre Célula (a), Painel (b) e Arranjo Fotovoltaico (c)



Fonte: Próprio Autor

2.2.1 Silício Monocristalino

As células podem ser produzidas com diferentes matérias, sendo projetadas durante o processo de fabricação para obtenção de uma melhor eficiência e menor custo. As células fotovoltaicas feitas de Silício cristalino são as mais utilizadas, elas podem ser monocristalinas, policristalinas ou amorfas. No entanto, para este trabalho, apenas serão abordadas painéis construídos com células do tipo monocristalinas, ilustrado na Figura 4, por questões de eficiência.

De acordo com Portal (2022), a tecnologia monocristalina é a mais antiga e possui a eficiência mais alta. Os painéis solares de Silício monocristalino (mono-Si) são facilmente reconhecíveis olhando de perto. Possuem uma cor uniforme, indicando Silício de alta pureza e cantos tipicamente arredondados.

Figura 4 – Painel do Tipo Monocristalino



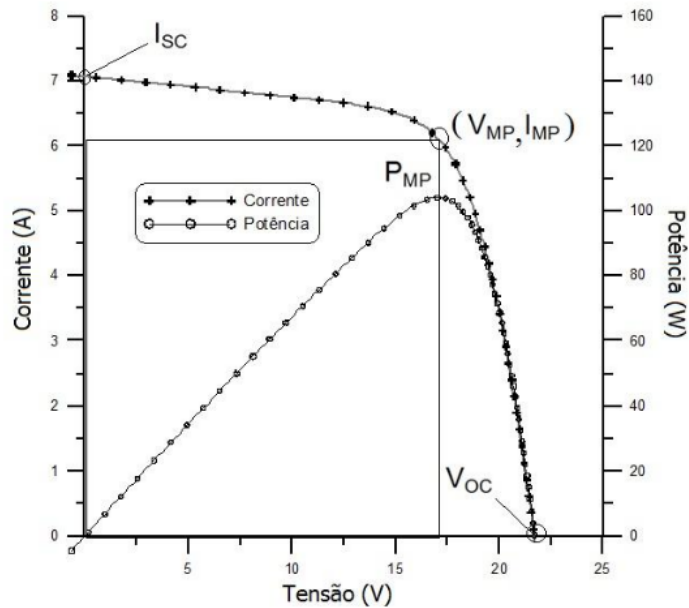
Fonte: (Portal, 2022)

2.2.2 Características Elétrica dos Módulos

Um módulo é geralmente identificado pela sua potência elétrica de pico, mas um conjunto de características compatíveis com a aplicação específica deve ser observado (Pinho *et al.*, 2014). Para determinar o W_p de um módulo fotovoltaico são realizados ensaios nas condições-padrão considerando irradiância solar de $1.000W/m^2$ sob uma temperatura de célula de $25\text{ }^\circ\text{C}$. Segundo Villalva e Gazoli (2012), um painel fotovoltaico não se comporta como uma fonte elétrica convencional, ou seja, não apresenta uma tensão de saída constante nos seus terminais.

Dessa forma, o ponto de operação do módulo fotovoltaico, ou seja, o valor da tensão e da corrente nos seus terminais, depende do que está conectado aos seus terminais (Villalva; Gazoli, 2012). A Figura 5 ilustra uma relação de corrente-tensão assim como mostra uma curva de potência em função da tensão. Alguns parâmetros são específicos de cada painel fotovoltaico, sendo fornecidos pelo fabricante, como por exemplo, os valores da corrente de curto-circuito I_{sc} , tensão de circuito aberto V_{oc} , corrente máxima I_{mp} , tensão máxima V_{mp} e potência máxima P_{mp} .

Figura 5 – Curva Característica Corrente-Tensão e Curva de Potência P-V Para um Módulo Com Potência Nominal de 100Wp



Fonte: (Villalva; Gazoli, 2012)

De acordo com Villalva e Gazoli (2012):

- I_{sc} : é a máxima corrente que a célula pode gerar sob as condições nominais, quando seus terminais são curto-circuitados;
- I_{mp} : é a corrente elétrica que a célula fornece no ponto de máxima potência sob as condições nominais;;
- V_{oc} : é a máxima tensão que a célula pode produzir sob as condições nominais e quando seus terminais estão abertos
- V_{mp} : é a tensão elétrica que a célula fornece no ponto de máxima potência sob as condições nominais;
- P_{mp} : o ponto de máxima potência corresponde, então, ao produto da tensão de máxima potência V_{mp} e corrente de máxima potência I_{mp} .

Além disso, para calcular a eficiência (η), em percentagem, dos módulos, emprega-se a equação 1.

$$\eta = \left(\frac{P_{mp}}{G \cdot A_m} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

- P_{mp} : potência elétrica máxima gerada;

- G : irradiância de mil Watts por metro quadrado ($1.000W/m^2$), considerando as condições-padrão de ensaio;
- A_m : área do módulo.

2.3 Inversor Solar

O inversor ilustrado na Figura 6, é um dispositivo eletrônico responsável por converter a eletricidade de tensão e corrente contínuas em tensão e corrente alternadas (Villalva; Gazoli, 2012). Como os painéis solares fornecem corrente contínua, é necessário converter essa corrente em corrente alternada devido à maioria dos aparelhos eletrodomésticos operarem com a rede elétrica alternada. Conforme mencionado por Gebert *et al.* (2017), a energia proveniente do inversor solar é direcionada ao quadro de distribuição da residência e distribuída internamente, resultando em uma redução do consumo de energia proveniente da rede convencional. O excedente de energia gerado é enviado de volta à rede da distribuidora, gerando créditos.

Figura 6 – Inversor Solar Growatt

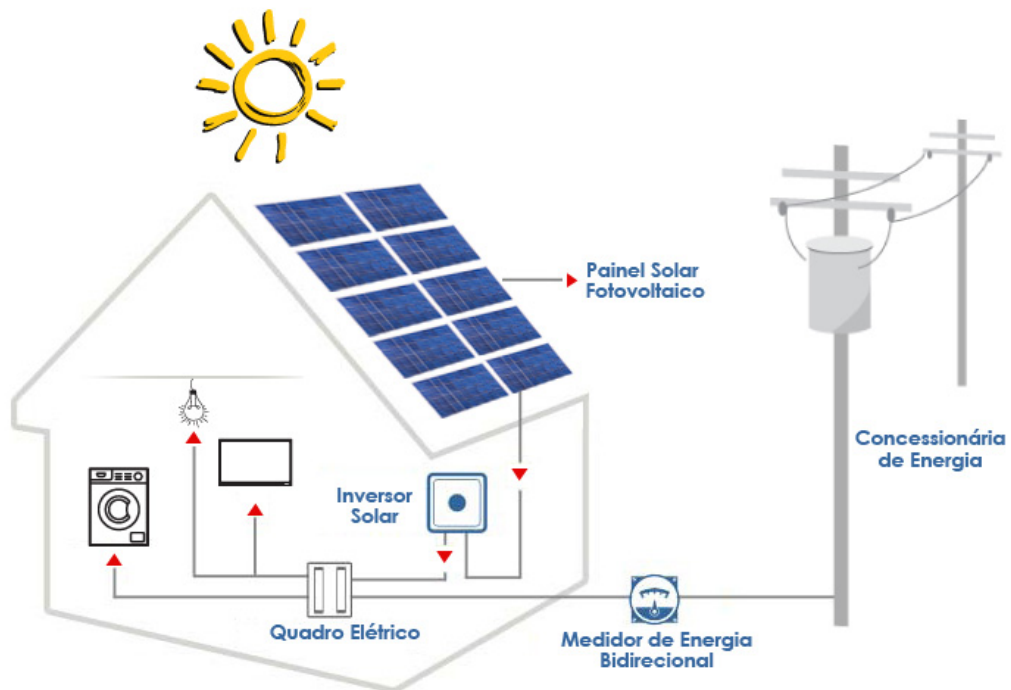


Fonte: (Growatt, 2023)

2.4 Sistema Fotovoltaico *On-Grid*

Conforme mencionado por Villalva e Gazoli (2012), um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (*On-Grid*) funciona em paralelo com a rede de eletricidade. Na Figura 7 é ilustrado o funcionamento e os componentes básicos de um sistema fotovoltaico *On-Grid*. Ao contrário do sistema autônomo, o sistema conectado é utilizado em locais que possuem acesso à energia elétrica. O objetivo do sistema fotovoltaico *On-Grid* é gerar eletricidade para consumo próprio, buscando reduzir ou eliminar a dependência da rede convencional, ou mesmo gerar um excedente de energia.

Figura 7 – Componentes Básicos de um Sistema Fotovoltaico *On-Grid*



Fonte: (SoLigado, 2019)

As instalações de sistemas fotovoltaicos *On-Grid* estão se tornando cada vez mais populares em países europeus, no Japão, nos Estados Unidos e, mais recentemente, no Brasil. As capacidades instaladas variam desde alguns kWp em instalações residenciais até vários MWp em grandes sistemas operados por empresas (Pinho *et al.*, 2014).

2.4.1 *Sistemas de Microgeração Fotovoltaica*

Conforme mencionado por Villalva e Gazoli (2012), os sistemas fotovoltaicos *On-Grid* podem ser classificados em 3 categorias distintas, baseadas na capacidade de geração dos sistemas. Essas categorias são:

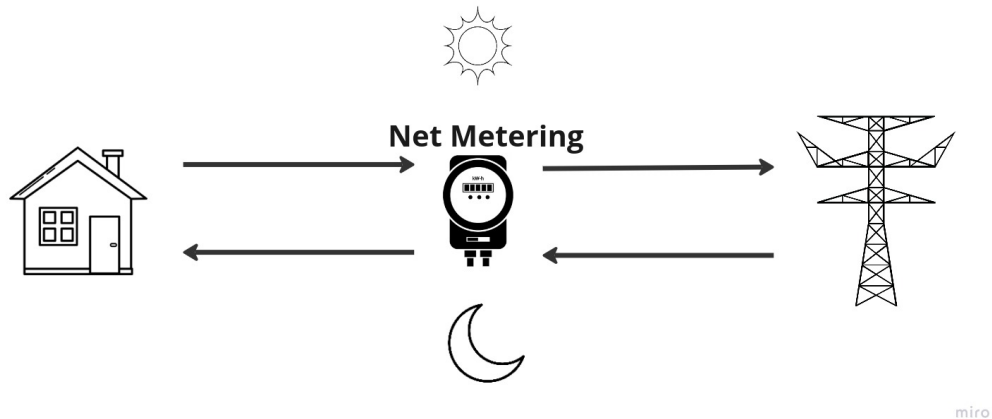
- **Microgeração:** potência instalada até 100kW;
- **Minigeração:** potência instalada entre 100kW e 1MW;
- **Usinas de eletricidade:** potência acima de 1MW.

O presente trabalho está direcionado à temática da microgeração. Os sistemas fotovoltaicos de microgeração são especificamente instalados em consumidores de natureza comercial e industrial. A finalidade desses sistemas é suprir parcial ou integralmente a demanda de energia elétrica desses consumidores, com o intuito de reduzir a dependência da rede pública de distribuição de energia elétrica, resultando em economia na tarifa energética (Villalva; Gazoli, 2012).

2.4.2 *Net Metering*

A tarifação por meio do *net metering* é um sistema de medição adotado em determinados países que utilizam sistemas fotovoltaicos residenciais *On-Grid* (Villalva; Gazoli, 2012). Basicamente, esse sistema envolve o uso de um medidor eletrônico que registra tanto a energia consumida pela residência proveniente da rede convencional quanto a energia gerada pelo sistema fotovoltaico, que pode ser exportada para a rede elétrica. Conforme esse sistema de tarifação, ao final do mês, o consumidor realiza o pagamento apenas pela diferença entre o consumo e a geração de energia (Villalva; Gazoli, 2012).

Na Figura 8 é ilustrado o funcionamento do *net metering*. Durante o período diurno, em que a geração de energia é maior do que o consumo, o *net metering* permite a exportação do excedente para a rede convencional. Durante o período noturno, em que a geração de energia é menor do que o consumo, o *net metering* permite a utilização da energia proveniente da rede convencional.

Figura 8 – Funcionamento do *Net Metering*

Fonte: Próprio Autor

2.5 Cálculos do Dimensionamento

Na subseção 2.5.1 aborda-se a importância do levantamento do consumo de energia da residência como o primeiro passo no dimensionamento de um sistema fotovoltaico. O cálculo do consumo é realizado com base na potência dos dispositivos eletrônicos e no tempo de uso. Isso pode ser obtido a partir das especificações do fabricante ou do histórico de consumo disponível nas faturas de energia. Na subseção 2.5.2 aborda-se o cálculo da quantidade necessária de painéis solares para suprir o consumo. É introduzido o conceito de Horas de Sol Pleno (HSP) e sua importância na estimativa de produção de energia. Além disso, é explicado como determinar a potência de pico do arranjo fotovoltaico e, com isso, calcular a quantidade de módulos necessários. Na subseção 2.5.3 aborda-se critérios essenciais, como a tensão de entrada, e a potência do inversor, que deve exceder a potência de pico do sistema. A recomendação é que a potência do inversor seja cerca de 20% superior à potência do conjunto de painéis.

2.5.1 Levantamento do Consumo de Energia da Residência

Segundo Villalva e Gazoli (2012), o primeiro passo para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico é o levantamento do consumo de energia elétrica. É necessário saber quais aparelhos elétricos serão usados e durante quantas horas eles ficarão ligados durante um dia ou durante a noite. A energia elétrica consumida por um conjunto de aparelhos eletroeletrônicos é calculada pela Equação 2.

$$E_c = \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i \quad (2)$$

Onde:

- E_c : energia consumida em watts-hora;
- P : potência em Watts (W);
- t : tempo de uso em horas (h).

O consumo de energia dos dispositivos eletrônicos alimentados pelo sistema de painéis solares pode ser estabelecido com base na potência indicada na placa de identificação, manual ou catálogo do fabricante (Villalva; Gazoli, 2012). Outra alternativa para determinar o consumo energético da residência é recorrer ao histórico disponível nas faturas de energia, permitindo o cálculo da média mensal de consumo.

2.5.2 Determinando a Quantidade de Painéis Solares

De acordo com Pinho *et al.* (2014), para estimativas de produção de energia elétrica, é comum ignorar os efeitos de variação da irradiância a cada instante e considerar a totalidade da energia elétrica convertida em intervalos horários. O número de HSP é uma grandeza que reflete o número de horas em que a irradiância solar deve permanecer constante e igual a $1.000W/m^2$, de forma que a energia resultante seja equivalente à energia disponibilizada pelo Sol no local em questão, acumulada ao longo de um dado dia (Pinho *et al.*, 2014). Logo, através da Equação 3, pode-se obter o HSP.

$$HSP = \frac{\text{irradiância do Local } [kWh/m^2]}{1 [kW/m^2]} [h] \quad (3)$$

Com base na Equação 4, é possível obter a potência de pico a ser considerada para a determinação da quantidade de módulos fotovoltaicos em watts-pico dos painéis solares (Fotaic, 2017).

$$P_{FV} = \frac{E}{HSP \cdot \eta} \quad (4)$$

Onde:

- P_{FV} : potência de pico do arranjo fotovoltaico em (kWp);
- E : consumo diário médio anual da edificação em (kWh/dia);
- HSP : média diária anual das HSP incidente no plano do painel solar;
- η : rendimento.

Dessa forma, sabendo a potência do sistema (P_{FV}) e as especificações dos módulos fotovoltaicos, pode-se dimensionar a quantidade de módulos necessários através da Equação 5.

$$N_m = \frac{P_{FV} \cdot 1000}{P_{mód}} \quad (5)$$

Onde:

- N_m : quantidade de módulos fotovoltaicos;
- P_{FV} : potência de pico do arranjo fotovoltaico em (kWp);
- P_{md} : potência nominal máxima do módulo em (Wp).

2.5.3 Determinando o Inversor

Segundo Villalva e Gazoli (2012), para determinar o inversor ideal para o sistema fotovoltaico, alguns critérios devem ser considerados, tais como: potência e tensão de entrada.

- **Tensão de entrada:** a tensão de entrada do inversor é a soma das tensões dos módulos associados em série. Como a tensão possui forte dependência da temperatura, as condições extremas de inverno e verão deverão ser utilizadas no dimensionamento. A máxima tensão do sistema ocorre quando o painel fotovoltaico está ainda em circuito aberto (V_{oc}) em baixas temperaturas. Dessa forma, o máximo número de painéis solares associados em série que pode ser conectado ao inversor é calculado pela Equação 6, pela razão da máxima tensão de entrada do inversor e da tensão de circuito aberto para as baixas temperaturas de inverno (Pinho *et al.*, 2014).

$$N_m \text{ em série} \cdot V_{ocTmin} < V_{i_{max}} \quad (6)$$

Onde:

- N_m em série: quantidade de módulos fotovoltaicos conectados em série;
 - V_{ocTmin} : tensão em circuito aberto (V_{oc}) de um painel solar na menor temperatura de operação prevista;
 - $V_{i_{max}}$: máxima tensão c.c. admitida pela entrada do inversor.
- **Potência:** o inversor deve ser especificado para uma potência de 20% a mais que o sistema fotovoltaico gera de potência de pico do conjunto de painéis (Fotaic, 2017).

2.6 Ferramenta *WEB*

Uma ferramenta *WEB* é um programa de software que pode ser acessado por meio de um navegador via internet. Ela oferece aos usuários conteúdo interativo e dinâmico, permitindo que eles realizem uma variedade de tarefas e acessem informações de qualquer local com conectividade à internet. As ferramenta *WEB* são desenvolvidas utilizando tecnologias *WEB*, como *HyperText Markup Language* (HTML), *Cascading Style Sheets* (CSS) e *JavaScript*, e seguem o modelo de arquitetura cliente-servidor para comunicação.

Uma das principais vantagens das ferramenta *WEB* é a sua compatibilidade multiplataforma, pois podem ser acessadas em diferentes dispositivos com sistemas operacionais diversos, sem a necessidade de desenvolvimento específico para cada dispositivo. As aplicações *WEB* utilizam uma arquitetura cliente-servidor, na qual o cliente (navegador *WEB*) envia requisições *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) para o servidor, que processa essas requisições, recupera dados de bancos de dados e gera conteúdo dinâmico para ser enviado de volta como resposta para o cliente.

No contexto deste estudo, está sendo desenvolvida uma ferramenta *WEB* para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos residenciais conectados à rede elétrica. Essa ferramenta *WEB* permitirá que os usuários determinem com precisão o número de painéis solares e a capacidade do inversor, levando em consideração características específicas de suas residências, como dimensões e localização geográfica. Além disso, a ferramenta realizará uma análise detalhada do período de retorno do investimento, fornecendo aos usuários informações valiosas sobre a viabilidade financeira de seu investimento em energia solar.

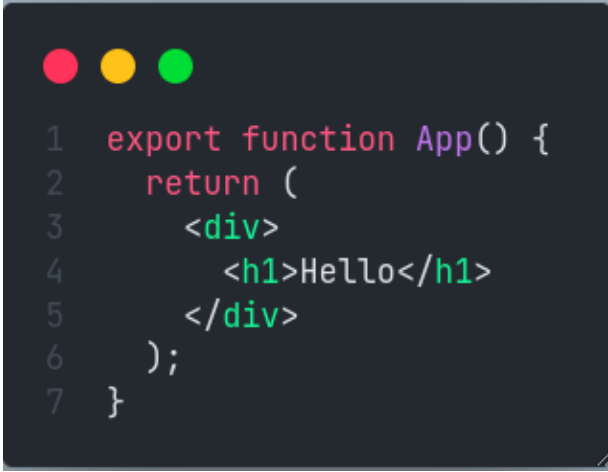
Aproveitando as capacidades das tecnologias *WEB*, essa ferramenta *WEB* tem como objetivo fornecer uma solução aos usuários para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos residenciais, atendendo às necessidades individuais e oferecendo estimativas do retorno do investimento.

2.6.1 *React.js*

O *React* é uma biblioteca *JavaScript*, eficiente e flexível para construir interfaces de usuário. Ele permite implementar interfaces de usuário complexas a partir de pequenos e isolados pedaços de código chamados “componentes” (Facebook, 2022). Um componente nada mais é que uma função do *JavaScript* que retorna um código HTML, conforme ilustrado na

Figura 9.

Figura 9 – Criando um Simples Componente Funcional em *React*

A screenshot of a code editor with a dark background. At the top left, there are three colored circles: red, yellow, and green. Below them, the code is displayed with line numbers 1 through 7 on the left. The code defines a function named 'App' that returns a JSX element consisting of a 'div' containing an 'h1' with the text 'Hello'.

```
1 export function App() {  
2   return (  
3     <div>  
4       <h1>Hello</h1>  
5     </div>  
6   );  
7 }
```

Fonte: Próprio Autor

Para este trabalho, essa biblioteca é utilizada para a construção do *front-end* da ferramenta *WEB* responsável por dimensionar o sistema fotovoltaico.

2.7 *Payback*

O *payback* é definido como o período de tempo em que ocorre o retorno do investimento (Brito, 2000). Neste estudo, o *payback* será determinado considerando o fluxo de caixa ao longo da vida útil de um painel solar, que é de 25 anos. Para calcular o *payback*, é necessário utilizar uma fórmula básica que envolve a divisão do valor do investimento pelo produto da energia gerada no ano pela tarifa de energia aplicada, conforme expresso na Equação 7.

$$\textit{Payback} = \frac{\text{Investimento}}{\text{Energia Gerada(KWh/ano)} \cdot \text{Valor da Tarifa}} \quad (7)$$

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo aborda-se os trabalhos relacionadas que contribuíram para o desenvolvimento do presente trabalho. Essas pesquisas abordam as metodologias empregadas no dimensionamento de um sistema fotovoltaico para uso residencial.

3.1 Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Residencial Conectado à Rede de Energia Elétrica

Em Oliveira (2018), realiza-se o dimensionamento de um projeto residencial de energia fotovoltaica conectado à rede elétrica (*On-Grid*). O autor iniciou o trabalho por meio da coleta de dados acerca da demanda de energia elétrica da residência em análise, levando em consideração o consumo médio diário e mensal. Essa análise possibilitou a determinação da carga total a ser suprida pelo sistema fotovoltaico. Posteriormente, foram realizados cálculos de Horas de Sol Pleno, consumo diário anual em quilowatts-hora por dia, potência de pico dos painéis fotovoltaicos e área de cada módulo, com o propósito de estabelecer a quantidade necessária de painéis solares e identificar o inversor adequado para o projeto. Importante destacar que nenhum recurso tecnológico, como ferramentas ou *softwares*, foi utilizado para automatizar os cálculos mencionados anteriormente.

Adicionalmente, o autor empreendeu uma análise econômica minuciosa visando prover informações relevantes acerca da viabilidade financeira do investimento em um sistema fotovoltaico residencial. A fim de determinar o tempo necessário para recuperar o investimento, foi realizado o cálculo do *payback*. Os resultados obtidos constituem um subsídio valioso para a tomada de decisões no que tange à implementação desse tipo de sistema, levando em consideração os aspectos financeiros envolvidos e os potenciais benefícios econômicos que podem ser alcançados ao longo do tempo.

O trabalho proposto se distingue da pesquisa conduzida pelo autor Oliveira (2018) no que tange à automação dos cálculos por meio de software. A abordagem aqui proposta automatiza os cálculos por intermédio da ferramenta desenvolvida no âmbito deste trabalho.

3.2 Sizing Stand-Alone Systems “Photovoltaic/Battery” using PVSYST Software with Domestic Variable Demand

No trabalho desenvolvido por Toujani *et al.* (2022), efetuam o dimensionamento de um projeto fotovoltaico isolado (*Off-Grid*) em consonância com a demanda variável de consumo da residência. Importa destacar que, para a realização desse dimensionamento, os autores utilizaram o *software PVSyst*.

O objetivo principal do trabalho do Toujani *et al.* (2022) consistiu em realizar o dimensionamento adequado desse sistema, levando em consideração a demanda de energia variável de uma residência específica. O sistema em estudo é composto por um sistema fotovoltaico, um conjunto de baterias, um controlador *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) e um inversor. Esses componentes são responsáveis por suprir a casa em questão com uma carga de consumo de 3 kWh.

Para garantir um dimensionamento preciso e eficiente, os autores utilizaram o *software PVSyst*, na versão 7.1.7. Esse *software* permite modelar o desempenho do sistema, considerando fatores como a radiação solar, as características dos painéis fotovoltaicos e a capacidade de armazenamento das baterias. Dessa forma, é possível assegurar a eficiência energética desejada e adequar o sistema às necessidades específicas da residência.

O trabalho se distingue da pesquisa conduzida pelo autor Toujani *et al.* (2022) no que tange ao tipo de sistema fotovoltaico, plataforma de execução dos *softwares* e análise do retorno do investimento. A abordagem aqui proposta foca apenas no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos *on-grid*, com a *WEB* sendo a plataforma de execução da ferramenta além de utilizar o cálculo do *payback* para análise do retorno do investimento.

3.3 Study and Sizing of Stand-Alone Photovoltaic System Using PVSyst Software

O trabalho conduzido pelos autores Tahar *et al.* (2020), consiste em uma análise aprofundada e um processo de dimensionamento de um sistema fotovoltaico *off-grid*. O objetivo principal é estudar e avaliar o desempenho desse sistema, bem como dimensioná-lo adequadamente utilizando o *software PVSyst*.

O estudo aborda a utilização do *PVSyst*, um *software* amplamente reconhecido na área de energia solar, que permite simular e modelar sistemas fotovoltaicos. Através desse *software*, é possível realizar uma análise precisa dos fatores que influenciam a geração de

energia, como a radiação solar, o posicionamento dos painéis solares e as características técnicas dos componentes do sistema.

Portanto, o estudo adota uma abordagem metodológica que segue os seguintes passos: obtém a demanda energética da residência e realiza análise de inclinação e orientação dos módulos para dimensionar um sistema fotovoltaico autônomo. Essa abordagem utiliza o *software PVSystem* como uma ferramenta fundamental para auxiliar no dimensionamento preciso do sistema. O autor visa contribuir para o avanço e aperfeiçoamento dos sistemas fotovoltaicos autônomos, impulsionando o uso sustentável da energia solar como uma fonte limpa e renovável.

O trabalho se distingue da pesquisa conduzida pelo autor Toujani *et al.* (2022) no que tange ao tipo de sistema fotovoltaico, plataforma de execução dos softwares e análise do retorno do investimento. A abordagem aqui proposta foca apenas no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos *on-grid*, com a *WEB* sendo a plataforma de execução da ferramenta além de utilizar o cálculo do *payback* para análise do retorno do investimento.

3.4 Development Of A Solar Photovoltaic System-Sizing Application For Zimbabwe

No estudo conduzido por Chiteka e Enweremadu (2016), os autores desenvolveram uma aplicação voltada para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos isolados (*Off-Grid*) que podem ser aplicados em diversas localidades do Zimbábue. Essa aplicação foi concebida com uma interface que permite ao usuário inserir todas as necessidades de energia para uso doméstico. São registradas a potência de cada dispositivo presente na residência, assim como a duração do seu período de funcionamento, o qual é dividido entre operação diurna e noturna. É importante ressaltar que a aplicação de dimensionamento do sistema solar foi implementada por meio do *Visual Basic 6* e conta com um banco de dados integrado contendo informações relacionadas a cada uma das localidades geográficas do Zimbábue, como os valores médios das horas de pico de luz solar, latitude e valores de irradiação solar de cada lugar.

Adicionalmente, o autor segue em frente para realizar uma análise de custos, a fim de determinar o custo médio por kWh da eletricidade gerada, bem como determinar o custo total da instalação.

O trabalho se distingue da pesquisa conduzida pelos autores Chiteka e Enweremadu (2016) no que tange ao tipo de plataforma de execução dos softwares e análise do retorno do investimento. A abordagem aqui proposta é a *WEB* sendo a plataforma de execução da ferramenta além de utilizar o cálculo do *payback* para análise do retorno do investimento.

3.5 Trabalho Proposto

Este trabalho serve de artefato, assim como os estudos realizados por Oliveira (2018), Toujani *et al.* (2022), Tahar *et al.* (2020) e Chiteka e Enweremadu (2016), realizar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial. No entanto, o foco deste trabalho é o desenvolvimento de uma ferramenta *WEB* para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede elétrica (*On-Grid*), diferenciando-se dos trabalhos relacionados que não exploram a utilização de uma ferramenta *WEB* ou de uma solução gratuita. É importante destacar que os trabalhos Tahar *et al.* (2020) e Toujani *et al.* (2022) se baseiam principalmente no uso de *software* pago, como o *PVSyst*, enquanto apenas o autor Chiteka e Enweremadu (2016) desenvolveu sua própria aplicação de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos voltado para plataforma *desktop*. Além disso, de forma similar ao estudo de Oliveira (2018), será calculado a Horas de Sol Pleno, consumo diário anual em quilowatts-hora por dia (kWh/dia) e a potência

de pico dos painéis fotovoltaicos. Esses cálculos permitirão obter a quantidade necessária de painéis solares e a potência ideal do inversor adequado para o sistema. Além disso, uma análise econômica minuciosa será conduzida com o intuito de fornecer informações relevantes acerca da viabilidade financeira do investimento, seguindo o método de cálculo do *payback* utilizado no trabalho de Oliveira (2018). No Quadro 1 é mostrado uma comparação entre os trabalhos relacionados e o trabalho proposto. Na coluna “Automatização dos Cálculos com Software”, é possível verificar se os cálculos são automatizados, sendo essa uma característica central no contexto de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. A coluna “Usa uma ferramenta *WEB* para o Dimensionamento” evidencia se a abordagem empregada utiliza uma plataforma online para conduzir o processo de dimensionamento. O critério “On-Grid” destaca se o sistema fotovoltaico considera a conexão com a rede elétrica convencional. Por fim, a coluna “Faz Análise do Investimento” indica se há uma avaliação financeira associada ao projeto. O destaque para o trabalho proposto reside na combinação única de características: automatização dos cálculos, uso de uma aplicação web, natureza *On-Grid* e análise abrangente do investimento, oferecendo uma abordagem abrangente e integrada para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos residenciais.

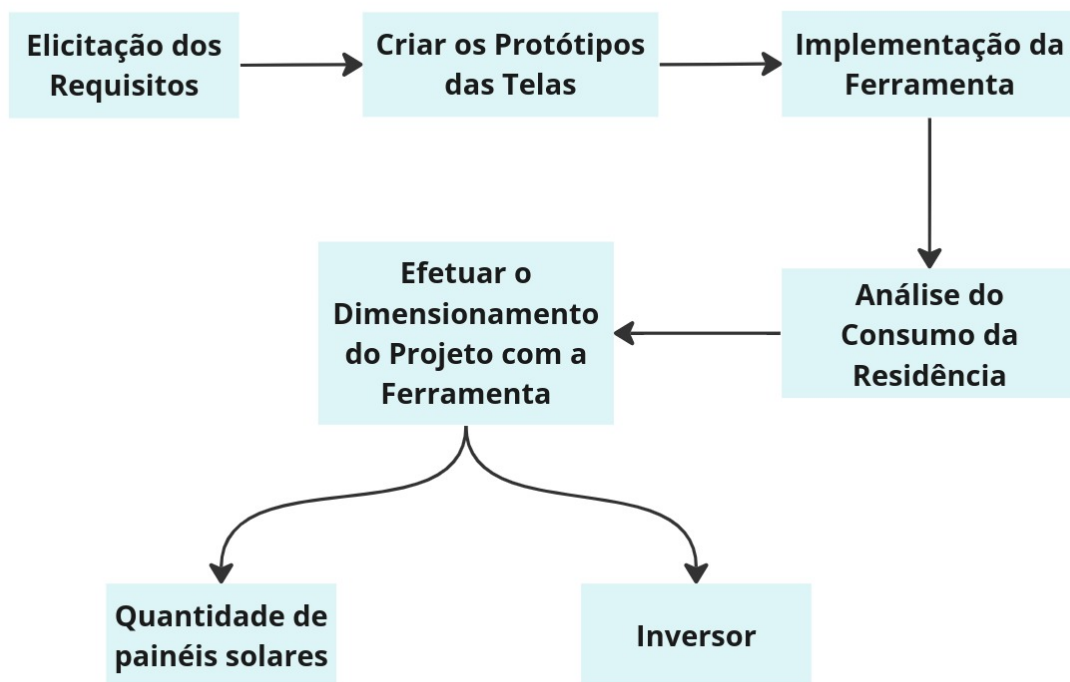
Quadro 1 – Comparação Dos Trabalhos Relacionados Com o Trabalho Proposto

Trabalho	Automatização dos Cálculos com <i>Software</i>	Usa uma Ferramenta <i>WEB</i> para o dimensionamento	<i>On-Grid</i>	Faz Análise do Investimento
Oliveira (2018)	Não	Não	Sim	Sim
Toujani <i>et al.</i> (2022)	Sim	Não	Não	Não
Tahar <i>et al.</i> (2020)	Sim	Não	Não	Não
Chiteka e Enweremadu (2016)	Sim	Não	Sim	Não
Este trabalho	Sim	Sim	Sim	Sim

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A fim de atingir os objetivos estabelecidos neste trabalho, é imprescindível seguir um conjunto de etapas, conforme ilustrado na Figura 10. Os artefatos “Quantidade de Painéis Solares” e “Inversor”, representam a saída da ferramenta *WEB*.

Figura 10 – Fluxo Metodológico



miro

Fonte: Próprio Autor

4.1 Elicitação dos Requisitos

Para o desenvolvimento da ferramenta *WEB*, é imprescindível estabelecer um ponto de partida, que neste caso são os requisitos. Conforme salientado por Valente (2020), os requisitos têm a responsabilidade de definir as funcionalidades que o sistema deve apresentar, assim como as restrições a serem consideradas. A seleção dos requisitos foi realizada através de entrevista, na qual foi utilizada como método de coleta de informação, com apenas três empresas do ramo de energia solar.

4.2 Criação dos Protótipos das Telas

A elaboração dos protótipos das interfaces foi embasada nos requisitos elencados na seção 4.1 além de uma análise feita em *softwares* de concorrentes. Para esse propósito, foi adotado a ferramenta *figma* como meio de prototipação das interfaces. Conforme informações obtidas no site oficial do *figma*, tal plataforma destaca-se por reunir recursos de *design* robustos e por ter sido desenvolvida visando às demandas futuras da *WEB* (Figma, 2023).

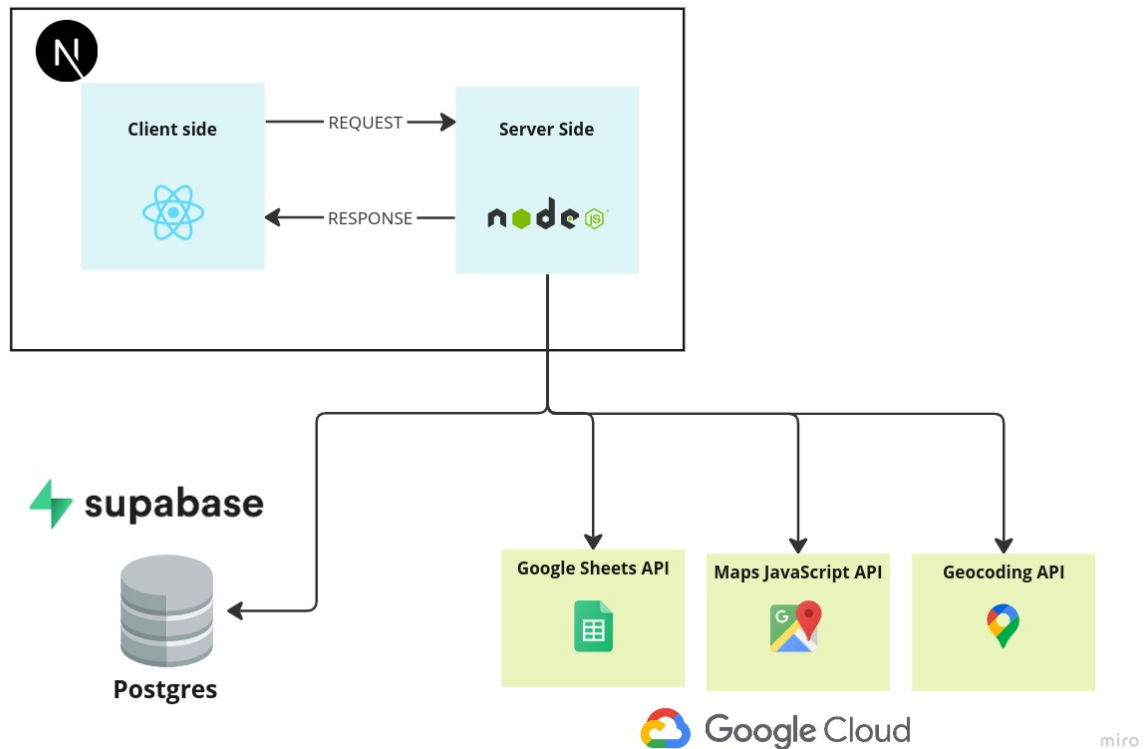
4.3 Implementação da Ferramenta *WEB*

Com a elaboração dos protótipos por meio do *figma*, foi possível efetuar o desenvolvimento da ferramenta *WEB* para o dimensionamento do sistema fotovoltaico. Para o desenvolvimento deste projeto, foram adotadas as seguintes tecnologias: *HTML5*, *CSS3*, *JavaScript* e o *framework Next.js* que utiliza a biblioteca *React.js* para a camada *Client-side* e utiliza o *Nodejs* na camada *Server-side*, conforme ilustrado na Figura 11.

De acordo com MDN (2023), o *HTML* é considerado a base da *WEB*, pois estabelece o significado e a estrutura do conteúdo veiculado. Normalmente, além do *HTML*, são empregadas outras tecnologias para descrever a aparência/apresentação como o *CSS* ou a funcionalidade/comportamento como o *JavaScript* de uma página *WEB*. A Figura 11 ilustra a arquitetura de alto nível da ferramenta, juntamente com as tecnologias que serão empregadas. O serviço *Supabase* é aplicado como um provedor de banco de dados *PostgreSQL* na nuvem.

De acordo com a documentação do *Supabase* (2023), o *Supabase* é uma alternativa de código aberto que se assemelha ao *Firebase*, permitindo a criação de *back-ends* seguros e de alto desempenho baseados em *PostgreSQL* com configuração simplificada. Além disso, algumas *APIs* do *Google* serão utilizadas, como a *Google Sheets API*, para preencher automaticamente células específicas da planilha com informações financeiras relativas ao *payback* e a *Maps JavaScript API* para a plotagem do *Google Maps* na ferramenta.

Figura 11 – Arquitetura de Alto Nível da Aplicação WEB



Fonte: Próprio Autor

4.4 Análise do Consumo da Residência

Essa etapa possui uma significativa relevância no processo de dimensionamento de um sistema fotovoltaico, uma vez que ela possibilita a avaliação quantitativa da demanda de consumo de energia elétrica que o sistema fotovoltaico implantado deve suprir. Para realizar essa avaliação, a Equação 2 permite somar o consumo de energia elétrica dos dispositivos que são alimentados pelo sistema fotovoltaico. Outra abordagem para analisar o consumo é utilizar o histórico de consumo das faturas de energia dos últimos 12 meses. Portanto, a análise do consumo da residência foi baseada no histórico de consumo presente na conta de energia.

4.5 Efetuar o Dimensionamento e a Análise Financeira do Investimento Por Meio da Utilização da Ferramenta WEB

Por meio do desenvolvimento da ferramenta WEB em questão, foi viabilizado o processo de dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial. É importante destacar que a fonte de dados utilizada para obter informações sobre a irradiação solar em uma localização específica foi proveniente do Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis

de Energia (LABREN) / Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - Brasil. Dessa forma, foi possível utilizar as Equações 3, 4 e 5 para o cálculo necessário. O modelo do painel solar utilizado é o *JAM72S30* de 550W conforme ilustrado no Anexo A.

Além disso, para realizar a análise do investimento, foi empregado o cálculo do *payback*, de acordo com a Equação 7. Com o intuito de obter uma estimativa mais precisa do retorno do investimento utilizando o cálculo do *payback*, foi conduzida uma projeção do aumento anual da taxa de energia elétrica. Com base em dados da ABRACEEL, entre os anos de 2015 e 2022, as tarifas elétricas residenciais tiveram um aumento de 70%, o que equivale a um aumento anual médio de 8.75%. Portanto, esse aumento foi considerado para as projeções. É importante destacar que o cálculo do *payback* foi tratado como um pagamento à vista.

5 RESULTADOS

Na seção 5.1 aborda-se os requisitos da ferramenta que foram elicitados. Na seção 5.2 aborda-se o resultado dos protótipos das telas da ferramenta. Na seção 5.3 aborda-se a construção da ferramenta com base nos requisitos identificados e nos protótipos desenvolvidos. Na seção 5.4 aborda-se o processo de análise do consumo de energia da residência. Na seção 5.5 aborda-se o processo de dimensionamento de um sistema fotovoltaico e da análise do retorno do investimento utilizando a ferramenta desenvolvida.

5.1 Elicitação de requisitos

Para a elicitação dos requisitos, foi realizado uma entrevista informal com três empresas do setor de energia solar, visando a obtenção de informações cruciais para o desenvolvimento da ferramenta *WEB* proposta. Essa abordagem ocorreu sem a adoção de um roteiro formal, sendo realizada por meio da plataforma *instagram* de cada empresa. Posteriormente, mediante a análise das observações coletadas e uma investigação de mercado voltada para compreensão de ferramentas similares, foi possível identificar os requisitos funcionais e não funcionais de alto nível para a ferramenta *WEB*. Dessa forma, a seguir estão listados os requisitos funcionais de alto nível:

- **RF001:** deve permitir ao usuário inserir informações sobre a consumo de energia elétrica da residência;
Prioridade: Essencial
- **RF002:** deve permitir que o usuário forneça a localização geográfica onde o sistema será instalado;
Prioridade: Essencial
- **RF003:** deve utilizar dados climáticos relevantes, como a irradiância solar média na região de instalação, para realizar os cálculos de geração de energia;
Prioridade: Essencial
- **RF004:** deve calcular a quantidade necessária de painéis solares e a potência ideal do inversor;
Prioridade: Essencial
- **RF005:** deve fornecer uma análise do investimento em energia solar, considerando os custos iniciais, os benefícios econômicos ao longo do tempo e o tempo de retorno do

investimento;

Prioridade: Essencial

- **RF006:** deve ser possível fazer a coleta das seguintes informações dos clientes onde se deseja fazer a instalação do projeto: Nome completo, E-mail, Telefone, CPF, RG, CEP, Cidade, Estado, Logradouro, Bairro, Número e complemento, consumo médio mensal, tipo de conexão (monofásico, bifásico, trifásico);

Prioridade: Essencial

- **RF007:** deve utilizar o *PostgreSQL* como sistema gerenciador de banco de dados;

Prioridade: Essencial

- **RF008:** deve ser possível visualizar os resultados do dimensionamento de forma intuitiva ao usuário;

Prioridade: Importante

- **RF009:** deve ser possível escolher o modelo de painel solar;

Prioridade: Essencial

- **RF010:** deve ser possível inserir o valor da serviço da instalação;

Prioridade: Essencial

- **RF011:** deve ser possível visualizar a quantidade de painéis solares conforme o usuário selecione um modelo em específico;

Prioridade: Essencial

- **RF012:** deve ser possível customizar as perdas por temperatura, incompatibilidade na fiação e conversão do inversor;

Prioridade: Essencial

A seguir estão listados os requisitos não funcionais de alto nível:

- **RNF001:** deve oferecer uma interface intuitiva para que os usuários possam inserir os dados necessários;

Prioridade: Essencial

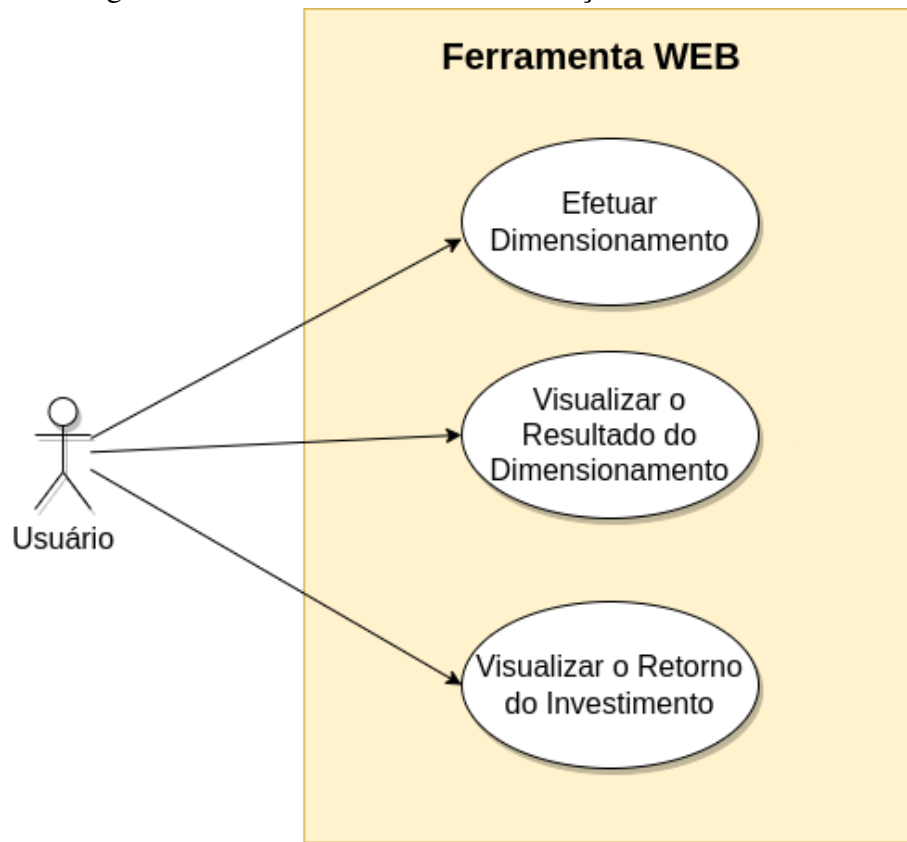
- **RNF002:** a ferramenta deve ficar disponível 24 horas por dia.

Prioridade: Desejável

Na Figura 12 é ilustrado o diagrama de caso de uso com as possíveis interações do usuário com a ferramenta. O usuário pode efetuar o dimensionamento, visualizar o resultado fornecido como a potência de pico do sistema fotovoltaico, potência ideal do inversos e também a quantidade de painéis solares baseado em um modelo específicos. Além disso, pode visualizar

uma planilha com as informações sobre o retorno do investimento.

Figura 12 – Diagrama de Caso de Uso Com as Interações do Usuário com a Ferramenta



Fonte: Próprio Autor

5.2 Criação dos Protótipos das Telas

Esta etapa desempenha um papel essencial, uma vez que os protótipos são elaborados com o propósito de alcançar um resultado satisfatório no desenvolvimento da ferramenta *WEB*. Para a elaboração dos protótipos foi realizado uma pesquisa em softwares concorrentes, tais como *PVsys* e, além de buscas por inspirações em plataformas como o *Dribbble* e *Behance*. A validação dos protótipos foi realizada em conjunto com as mesmas empresas do ramo de energia solar da etapa de elicitação de requisitos.

Na Figura 13 é ilustrado o protótipo da tela em que o usuário deve fornecer sua identificação, preenchendo os campos da seção “Dados Pessoais”, e também inserindo suas informações de localização na seção “Endereço”.

Figura 13 – Tela de Cadastro

Cadastro

Realize o processo de cadastro para ter acesso aos recursos da nossa plataforma

Dados pessoais

Nome completo Digite seu nome completo	E-mail Digite seu e-mail principal	Telefone Digite seu telefone
CPF Digite seu CPF válido	RG Digite seu RG válido	

Endereço

CEP Digite o CEP	Cidade Digite o nome da sua cidade	Estado Digite o nome do seu estado
Logradouro Digite seu logradouro	Bairro Digite o nome do seu bairro	Número Número da residência
Complemento Digite um complemento		

Avançar

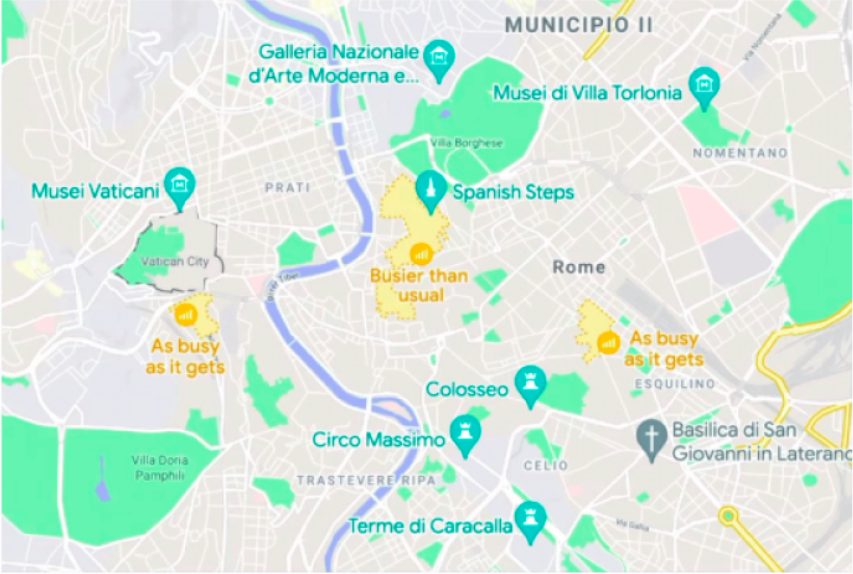
Fonte: Próprio Autor

Na Figura 14 é ilustrado o protótipo da tela em que o usuário deve selecionar no mapa o local da instalação do sistema fotovoltaico. Isso permitirá a obtenção da média de irradiância solar do local baseado na latitude e longitude.

Figura 14 – Tela de Coordenadas Geográficas do Local

Coordenadas geográficas do local

Selecione no mapa o local que será realizado a instalação dos painéis solares para obtermos a irradiância média do local



Latitude -82387423	Longitude -82387423	Irradiância média -82387423
-----------------------	------------------------	--------------------------------

[Voltar](#) [Avançar](#)

Fonte: Próprio Autor

Na Figura 15 é ilustrado o protótipo da tela na qual o usuário deve especificar o tipo de conexão elétrica, que pode ser monofásica, bifásica ou trifásica. Isso é essencial, pois o dimensionamento do sistema fotovoltaico será personalizado com base no tipo de conexão. Além disso, o usuário tem a opção de inserir a demanda de energia da sua residência de duas maneiras: através da média anual do consumo encontrado no histórico da fatura da tarifa de energia ou inserindo manualmente os eletrodomésticos desejados para o dimensionamento, conforme é ilustrado na Figura 16.

Figura 15 – Tela do Perfil de Consumo

Fonte: Próprio Autor

Figura 16 – Tela Com o Modal Para o Usuário Inserir Manualmente Quais Equipamentos Deseja Incluir Em Seu Dimensionamento.

Fonte: Próprio Autor

Continuando o fluxo de dimensionamento que o usuário deve seguir na ferramenta, na Figura 17 é ilustrado o protótipo da tela com os parâmetros relacionados às perdas por temperatura, incompatibilidade elétrica, acúmulo de sujeira, cabeamento CC, cabeamento CA e inversor. Estes parâmetros devem ser configurados de acordo com as necessidades do dimensionamento.

namento. De acordo com Sol (2022) existem perdas por sombreamento, poeira e *mismatch*, mas para o propósito deste trabalho, os ilustrados na Figura 17 são suficientes. Vale ressaltar que a porcentagem de cada perda foi inserida de acordo com Fotaic (2017).

Figura 17 – Tela Com as Perdas do Sistema



Fonte: Próprio Autor

Na Figura 18 é ilustrado o protótipo da interface com o resultado do dimensionamento do sistema fotovoltaico, considerando as especificidades do projeto. Nesta tela, o usuário terá como verificar a potência de pico calculada, juntamente com a potência ideal do inversor. Adicionalmente, o usuário deverá fornecer informações sobre o custo do serviço, uma vez que essa informação será incorporada na análise financeira do dimensionamento. O usuário terá acesso a uma planilha do *Google Sheets* com o resultado da análise financeira clicando em “aqui”, conforme é ilustrado na Figura 18.

Figura 18 – Resultado do Dimensionamento

Resultado

Observe quais são os requisitos necessários para o dimensionamento com base na sua localização e perfil de consumo.

Potência de pico ideal: 2.35 kWp

Potência ideal do inversor: 3040 W

Análise financeira do projeto: [aqui](#)

Painel fotovoltaico

Escolha um modelo de painel solar ⓘ

Quantidade de painéis solares

10

Valor do serviço

Digite o valor do serviço

Fonte: Próprio Autor

5.3 Implementação da Ferramenta

Para o desenvolvimento da ferramenta, optou-se por utilizar o *framework Next.js*, o qual foi empregado na construção da ferramenta de acordo com os protótipos previamente elaborados. O código-fonte da implementação da ferramenta pode ser acessado por esse *link*: <https://github.com/andersonsilva019/dimensionaai>. Nesse sentido, a arquitetura de alto nível, conforme é ilustrado na Figura 11, foi efetivamente implementada. Ademais, a integração da ferramenta desenvolvida neste trabalho com serviços de terceiros foi realizada, destacando a importância desses serviços para o correto funcionamento da ferramenta responsável pelo dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

Existem fluxos importante na ferramenta que são responsáveis por:

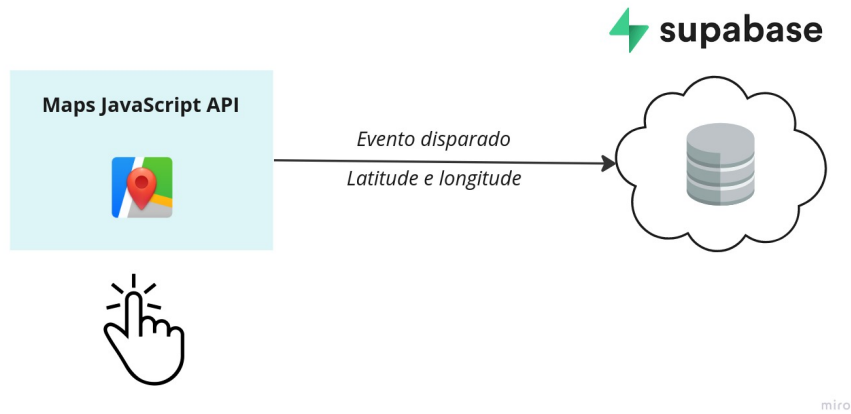
- Obter à média de Irradiância solar do local;
- Realizar o cálculo do dimensionamento.

5.3.1 Obter à Média de Irradiância Solar do Local

Na Figura 19 é ilustrado um diagrama que descreve o processo de obtenção da média de irradiância solar do local. Quando o usuário clica no mapa, que faz parte da *Maps JavaScript API*, um evento é acionado, fornecendo informações de latitude e longitude. Em seguida, é gerada uma consulta ao banco de dados na nuvem, solicitando o valor da irradiância com base

nas coordenadas do usuário. Dessa forma, o usuário consegue obter a média de irradiância solar do local.

Figura 19 – Fluxo Para Obter a Irradiância Solar

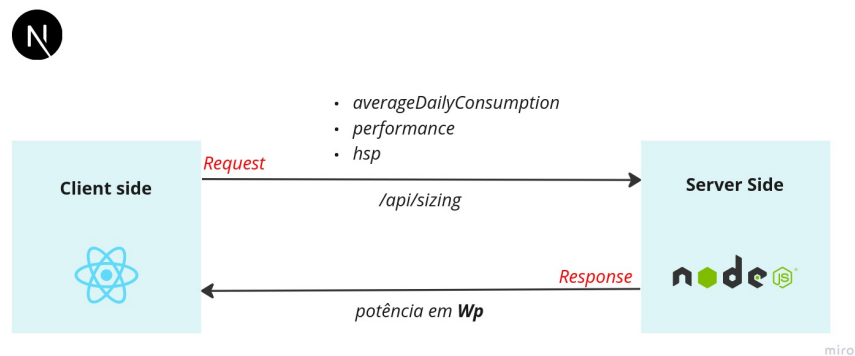


Fonte: Próprio Autor

5.3.2 Realizar o Cálculo do Dimensionamento

Na Figura 20 é ilustrado um diagrama que representa o processo de dimensionamento. Após o usuário definir os parâmetros de perdas a serem considerados no dimensionamento e clicar no botão “Avançar”, o fluxo ilustrado na Figura 20 será efetuado. O cliente, neste caso um navegador (*Browser*), envia uma requisição do tipo *POST* com informações que incluem o consumo médio diário, a porcentagem de perda do sistema a ser considerada e as Horas de Sol Pleno para o *endpoint* “/api/sizing”. Em resposta, o servidor fornece a potência ideal em Watts-pico que o sistema fotovoltaico deve possuir.

Figura 20 – Fluxo para obter a irradiância solar



Fonte: Próprio Autor

5.4 Análise do Consumo da Residência

Para proceder ao dimensionamento do sistema fotovoltaico, é crucial inicialmente determinar a demanda de consumo da residência. Assim, foi utilizado o histórico de consumo é mostrado na Tabela 1, extraído de uma fatura de energia referente a uma residência, o qual servirá como base para o processo de dimensionamento.

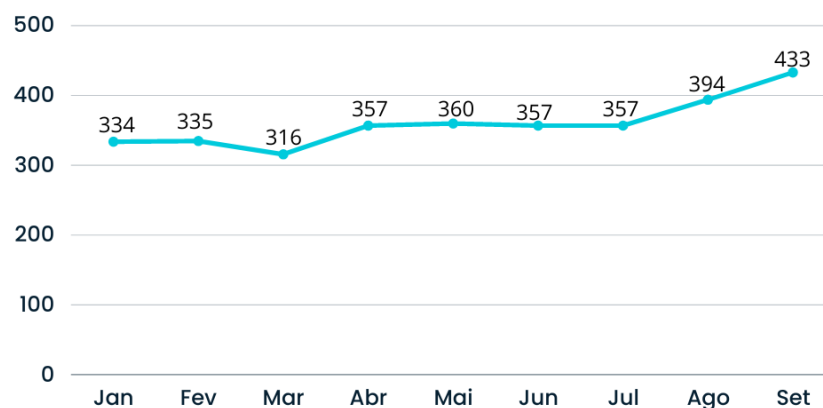
Tabela 1 – Histórico da Fatura de Energia Elétrica

MÊS/ANO	CONSUMO / kWh
SET23	433.00
AGO23	394.00
JUL23	357.00
JUN23	357.00
MAI23	360.00
ABR23	357.00
MAR23	360.00
FEV23	335.00
JAN23	334.00

Fonte: Fonte: Próprio Autor

Na Figura 21 é ilustrado a distribuição do consumo nessa residência durante o período de Janeiro a Setembro.

Figura 21 – Representação em Gráfico do Histórico da Fatura de Energia Elétrica



Conforme é ilustrado na Figura 21, o consumo demonstra variações, sendo, portanto,

necessário calcular uma média do consumo para fins de dimensionamento. Sendo assim:

$$334 + 335 + 316 + 357 + 360 + 357 + 357 + 394 + 433 = 3243kWh$$

Logo, o consumo médio durante o período de janeiro a setembro da residência é:

$$3243/9 = 360.33 \text{ kWh}$$

5.5 Efetuar o Dimensionamento do Projeto Com a Ferramenta

Na Figura 22 é ilustrado à primeira etapa do processo de dimensionamento, na qual são inseridas as seguintes informações pelo cliente: nome completo, endereço de *e-mail*, número de telefone, CPF, RG, CEP, cidade, estado, nome da rua, bairro, número da residência e complemento. Note que os dados preenchidos nos campos são fictícios, visto que incluem informações sensíveis, como o CPF e o RG.

Figura 22 – Etapa de Cadastro

Cadastro

Realize o processo de cadastro para ter acesso aos recursos da nossa plataforma

Dados pessoais

Nome completo	E-mail	Telefone
<input type="text" value="Anderson Silva Souza"/>	<input type="text" value="johndoe@johndoe.com"/>	<input type="text" value="88000000000"/>
CPF	RG	
<input type="text" value="00000000000"/>	<input type="text" value="00000000000"/>	

Endereço

CEP	Cidade	Estado
<input type="text" value="00000000"/>	<input type="text" value="Cidade Teste"/>	<input type="text" value="CE"/>
Logradouro	Bairro	Número
<input type="text" value="Rua de teste"/>	<input type="text" value="Bairro de teste"/>	<input type="text" value="000"/>

Complemento

Fonte: Próprio Autor

Na Figura 23 é ilustrado o processo de aquisição das informações relativas à localização da instalação, com o objetivo de obter a irradiância média solar naquela região. Durante esta etapa, o cliente indica no mapa o local de instalação dos painéis solares, e a aplicação assume a responsabilidade de fornecer irradiância média solar correspondente a essa localização. Dessa forma, a irradiância solar média foi de **5,807 kWh/m²**.

Figura 23 – Etapa de Coordenada Geográficas do Local

Coordenadas geográficas do local

Selecione no mapa o local que será realizado a instalação dos painéis solares para obtermos a irradiância média do local



Latitude -5.724939209875148	Longitude -39.00205135702051	Irradiância 5.807 kWh/m ²
--------------------------------	---------------------------------	---

[Voltar](#) [Avançar](#)

Fonte: Próprio Autor

Na Figura 24 é ilustrado as especificações e características da rede elétrica da residência. Nessa etapa, o cliente é solicitado a fornecer informações relevantes, tais como o **tipo de conexão elétrica**, que pode ser monofásica, bifásica ou trifásica, uma vez que essa escolha influencia o cálculo do dimensionamento. Além disso, é requerido que o cliente informe o **método de análise** para obter o seu consumo médio mensal de energia em quilowatts-hora (kWh). O método de análise escolhido solicita ao usuário apenas o seu consumo médio mensal. Dessa forma, o tipo de conexão da residência em que os painéis serão instalados é **monofásica** e apresenta um consumo médio mensal de **360.33 kWh**.

Figura 24 – Etapa do Perfil de Consumo

Perfil de consumo

É fundamental compreender o seu perfil de consumo para realizar um dimensionamento preciso

Tipo de conexão

Monofásica Bifásica Trifásica

Método de análise

Histórico de consumo

Consumo médio anual (em kWh)

Fonte: Próprio Autor

Na Figura 25 é ilustrado a tela em que o cliente estabelece os parâmetros de perdas que serão levados em consideração durante o processo de dimensionamento. Nessa etapa, é solicitado ao cliente que indique a porcentagem de perdas associada a cada componente a ser considerada no cálculo do projeto. A escolha do cliente influencia diretamente a maneira como o cálculo do dimensionamento será realizado. Dessa forma, para o dimensionamento foi considerado as seguintes porcentagens:

- Perdas por temperatura - **12.5%**
- Perdas por incompatibilidade - **1.5%**
- Perdas por acúmulo de sujeira - **4.5%**
- Perdas no cabeamento CC - **1%**
- Perdas no cabeamento CA - **1%**
- Perdas no inversor - **4%**

Figura 25 – Etapa de Perdas do Sistema



Na Figura 26 é ilustrado o resultado definitivo do processo de dimensionamento. Nessa etapa, o cliente recebe os resultados do dimensionamento do seu sistema fotovoltaico, que foi personalizado para atender às particularidades do seu projeto. Além disso, o cliente recebe a quantidade de painéis solares recomendadas, utilizando um modelo específico, neste caso, o *JAM72S30-550/MR*. Dessa forma a quantidade recomendada de painéis solares são **5** painéis e que o inversor tenha no mínimo **3012W**.

Figura 26 – Etapa de Resultados

Resultado

Observe quais são os requisitos necessários para o dimensionamento com base na sua localização e perfil de consumo

Potência de pico ideal: 2.51 kWp
Potência ideal do inversor: 3012 W

Selecione o modelo de painel solar

JAM72S30-550/MR | v

Valor do serviço

3500

Quantidade de painéis solares

①5

Voltar

Finalizar

Fonte: Próprio Autor

Por fim, note que, na Figura 27 é ilustrado um *link*, destacado na palavras “aqui”, com à análise financeira do projeto. Ao clicar nesse *link*, o usuário é redirecionado para uma planilha do *Google Sheets* com as informações sobre a análise financeira do *payback*, conforme é ilustrado na Figura 28. A coluna “Fluxo de Caixa” denota o saldo do cliente ao término de cada ano. O valor do fluxo de caixa é reduzido pelo montante gerado anualmente pelo sistema fotovoltaico, multiplicado pela tarifa elétrica vigente no respectivo ano. A cor vermelha é empregada para representar o *déficit* no saldo, enquanto a tonalidade verde é utilizada para denotar a economia realizada pelo cliente por meio do sistema fotovoltaico. Vale ressaltar que apesar de possuir outras formas de pagamento, como crédito bancário, financiamento e cartão de crédito, a análise financeira foi realizando considerando o pagamento à vista do sistema fotovoltaico. Dessa forma, o *payback* do investimento fica em torno de 11 a 12 anos.

Figura 27 – Etapa de Resultados Com o *Link* para uma Planilha com a Análise Financeira do *Payback*

Resultado

Observe quais são os requisitos necessários para o dimensionamento com base na sua localização e perfil de consumo

Potência de pico ideal: 2.51 kWp
Potência ideal do inversor: 3012 W
Análise financeira do projeto: [aqui](#)

<p>Selecione o modelo de painel solar</p> <input style="width: 90%;" type="text" value="JAM72S30-550/MR"/> Valor do serviço	<p>Quantidade de painéis solares</p> <input style="width: 80%;" type="text" value="5"/>
<input style="width: 90%;" type="text" value="3500"/>	

Fonte: Próprio Autor

Na Figura 29 é ilustrado o montante correspondente ao orçamento do projeto (abrangendo unicamente o custo dos painéis solares e do inversor), o valor do serviço cobrado, e a taxa empregada para projetar o aumento anual do preço da tarifa elétrica. Portanto o valor do investimento para a adoção do sistema fotovoltaicos foi de:

$$\text{R}\$8.586,00 + \text{R}\$3.500,00 = \text{R}\$ 12.086,00$$

Figura 28 – Planilha com a Análise Financeira do *Payback*

Ano	Geração	Projeção do preço	Economia	Fluxo de caixa
1	916,15	R\$0,75	R\$687,11	-R\$11.398,89
2	916,15	R\$0,82	R\$747,23	-R\$10.651,65
3	916,15	R\$0,89	R\$812,62	-R\$9.839,03
4	916,15	R\$0,96	R\$883,72	-R\$8.955,31
5	916,15	R\$1,05	R\$961,05	-R\$7.994,27
6	916,15	R\$1,14	R\$1.045,14	-R\$6.949,13
7	916,15	R\$1,24	R\$1.136,59	-R\$5.812,54
8	916,15	R\$1,35	R\$1.236,04	-R\$4.576,50
9	916,15	R\$1,47	R\$1.344,19	-R\$3.232,30
10	916,15	R\$1,60	R\$1.461,81	-R\$1.770,49
11	916,15	R\$1,74	R\$1.589,72	-R\$180,77
12	916,15	R\$1,89	R\$1.728,82	R\$1.548,05
13	916,15	R\$2,05	R\$1.880,09	R\$3.428,14
14	916,15	R\$2,23	R\$2.044,60	R\$5.472,74
15	916,15	R\$2,43	R\$2.223,50	R\$7.696,24
16	916,15	R\$2,64	R\$2.418,06	R\$10.114,30
17	916,15	R\$2,87	R\$2.629,64	R\$12.743,94
18	916,15	R\$3,12	R\$2.859,73	R\$15.603,67
19	916,15	R\$3,39	R\$3.109,96	R\$18.713,63
20	916,15	R\$3,69	R\$3.382,08	R\$22.095,71
21	916,15	R\$4,01	R\$3.678,01	R\$25.773,72
22	916,15	R\$4,37	R\$3.999,84	R\$29.773,56
23	916,15	R\$4,75	R\$4.349,82	R\$34.123,38
24	916,15	R\$5,16	R\$4.730,43	R\$38.853,82
25	916,15	R\$5,62	R\$5.144,35	R\$43.998,17

Fonte: Próprio Autor

Figura 29 – Valores de Orçamento e Taxa Empregada Para Projetar o Aumento Anual do Preço da Tarifa Elétrica

Valor do orçamento do projeto	R\$ 8.586,00
Valor do serviço	R\$ 3.500,00
Aumento anual	0,0875

Fonte: Próprio Autor

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

No estudo aborda-se a importância e os principais passos envolvidos no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos residenciais conectados à rede elétrica. Fica de lição aprendida o quanto um dimensionamento correto é crucial para garantir a eficiência e a sustentabilidade de tais sistemas, considerando a demanda energética de cada residência de maneira precisa. Foi destacado que o levantamento do consumo de energia é o primeiro passo fundamental no dimensionamento, e isso pode ser realizado com base em registros históricos das faturas de energia. Fica de lição aprendida que as informações do consumo da residência são essenciais para determinar a quantidade de painéis solares necessários, que deve ser dimensionada com base na irradiação solar da região.

A escolha do inversor também é um aspecto crítico, levando em consideração a tensão de entrada e potência, bem como a seleção dos parâmetros de perdas para o cálculo correto do dimensionamento. A recomendação é que a potência do inversor seja maior ou igual a 20% da potência de pico do arranjo de painéis solares. Além disso, foi abordada a implementação de uma ferramenta que auxilia o dimensionamento, tornando o processo mais eficiente e acessível aos usuários. Essa ferramenta visa facilitar a adoção de sistemas fotovoltaicos residenciais, reduzindo os custos com energia elétrica e promovendo a sustentabilidade.

Fica de trabalho futuros a ferramenta ser capaz de fazer todo o projeto de instalação dos painéis solares. Em outras palavras, a ferramenta será aprimorada para fornecer a melhor distribuição dos painéis no telhado da residência, levando em consideração a área disponível em m^2 .

Portanto, no estudo aborda-se a importância de considerar fatores como o consumo energético, a irradiação solar e as perdas no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos residenciais, e destaca o potencial das ferramentas e tecnologias disponíveis para tornar esse processo mais acessível e eficiente. O uso desses sistemas tem um grande impacto na redução dos custos com energia elétrica e na promoção da energia limpa e renovável.

REFERÊNCIAS

- BALFOUR, J.; SHAW, M.; NASH, N. B. **Introdução ao projeto de sistemas fotovoltaicos**. [S. l.: s. n.], 2016.
- BLUESOL. **Conta de luz muito alta**: conheça agora as causas do problema, a solução e suas vantagens. 2022. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/conta-de-luz-muito-alta/>. Acesso em: 29 abr. 2023.
- BLUESOL. **Painel solar (placa solar)**: a verdade sobre o preço e como funciona. 2022. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/painel-solar-preco-e-como-funciona/>. Acesso em: 07 mai. 2023.
- BOREAL, S. **Potencial de energia solar**: quais as melhores regiões brasileiras para captação da luz solar. 2016. Disponível em: <http://borealsolar.com.br/blog/2016/10/26/potencial-de-energia-solar-quais-as-melhores-regioes-brasileiras-para-captacao-da-luz-solar/>. Acesso em: 27 mar. 2023].
- BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. [S. l.]: Prentice-Hall do Brasil, 1984. v. 6.
- BRITO, P. **Análise e viabilidade de projetos de investimentos** . [S. l.]: Atlas, 2000.
- CARLOS, R. **Terra recebe do sol 10 mil vezes o consumo energia**. 2009. Disponível em: <https://www.terra.com.br/economia/terra-recebe-do-sol-10-mil-vezes-o-consumo-energia,23083e33118da310VgnCLD200000bbcceb0aRCRD.html>. Acesso em: 26 mar. 2023.
- CHITEKA, K.; ENWEREMADU, C. C. **Development of a solar photovoltaic system sizing application for Zimbabwe**. 2016.
- FACEBOOK. **React**: A javascript library for building user interfaces. 2022. Disponível em: <https://legacy.reactjs.org/>. Acesso em: 24 mai. 2023.
- FIGMA. **Free design tool for websites, product design more**. 2023. Disponível em: <https://www.figma.com/design/>. Acesso em: 29 mai. 2023.
- FOTAIC, E. S. **Dimensionamento sistema solar fotovoltaico passo a passo**. 2017. Disponível em: <https://bit.ly/3RtbZM>. Acesso em: 28 out. 2023.
- GEBERT, A.; MULLER, R.; CASAGRANDE, D. **Energia solar fotovoltaica**. 2017.
- GROWATT. **Inversor fotovoltaico residencial**. 2023. Disponível em: <https://br.growatt.com/products/mic-1000-3300tl-x>. Acesso em: 09 mai. 2023.
- INTELBRAS. **O que é energia solar? tudo sobre o sistema fotovoltaico**. 2023. Disponível em: <https://blog.intelbras.com.br/o-que-e-energia-solar-tudo-sobre-o-sistema-fotovoltaico/>. Acesso em: 29 abr. 2023.
- MDN. **HTML**: linguagem de marcação de hipertexto. 2023. Disponível em: <https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/HTML>. Acesso em: 29 mai. 2023.

OLIVATI, C. d. A. **Efeito fotovoltaico e fotocondutividade em dispositivos poliméricos**. 2000. Dissertação (Mestrado em Física Aplicada) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

OLIVEIRA, L. H. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede de energia elétrica**. 2018. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

ORIGO energia. **Conta de luz muito alta? saiba aqui como resolver!** 2022. Disponível em: <https://origoenergia.com.br/blog/economia/resolver-conta-de-luz-muito-alta/>. Acesso em: 29 abr. 2023.

PEREIRA, E.; MARTINS, F.; ABREU, S. de; RÜTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. INPE, 2017. 15 p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. *et al.* **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. [S. l.: s. n.], 2014. v. 1.

PORTAL, S. **Dados do mercado de energia solar no Brasil**. 2021. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/mercado-de-energia-solar-no-brasil.html>. Acesso em: 26 mar. 2023.

PORTAL, S. **Painel solar: o que é, como funciona e tipos**. 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/painel-solar>. Acesso em: 07 mai. 2023.

SOL, A. do. **Fatores de perda em sistemas fotovoltaicos**. 2022. Disponível em: <https://academiadosol.com.br/blog/fatores-de-perda-em-sistemas-fotovoltaicos/>. Acesso em: 19 out. 2023.

SOLIGADO. **Sistema conectado à rede: como funciona**. 2019. Disponível em: <https://www.soligado.com.br/blog/sistema-conectado-a-rede-como-funciona/32>. Acesso em: 04 jun. 2023.

SUPABASE. **Official documentation of supabase**. 2023. Disponível em: <https://supabase.com/>. Acesso em: 18 jun. 2023.

TAHAR, T.; RACHID, M.; BRAHIM, B.; MILOUD, B. **Study and sizing of stand-alone photovoltaic system using PVsyst software**. 2020. 1–4 p.

TOUJANI, R.; ABDELKAFI, A.; KRICHEN, L. **Sizing stand-alone systems “Photovoltaic/Battery” using PVSYST software with domestic variable demand**. 2022.

VALENTE, M. T. **Engenharia de software moderna: princípios e práticas para desenvolvimento de software com produtividade**. Belo Horizonte: [s.n.], 2020.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Érica: [s.n.], 2012.

ANEXO A – DATASHEET DO PAINEL FOTOVOLTAICO CANADIAN SOLAR

Harvest the Sunshine

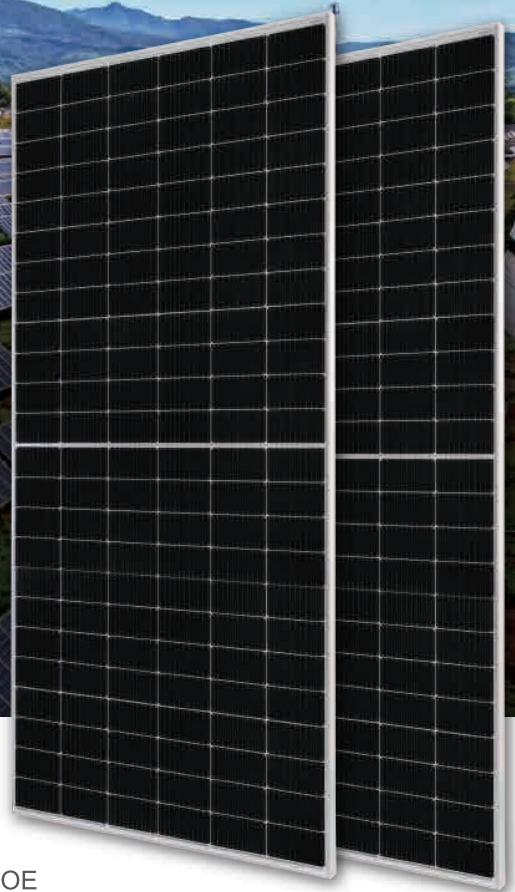
DEEP BLUE 3.0

Mono

550W MBB Half-cell Module
JAM72S30 525-550/MR Series

Introduction

Assembled with 11BB PERC cells, the half-cell configuration of the modules offers the advantages of higher power output, better temperature-dependent performance, reduced shading effect on the energy generation, lower risk of hot spot, as well as enhanced tolerance for mechanical loading.



Higher output power



Lower LCOE



Less shading and lower resistive loss

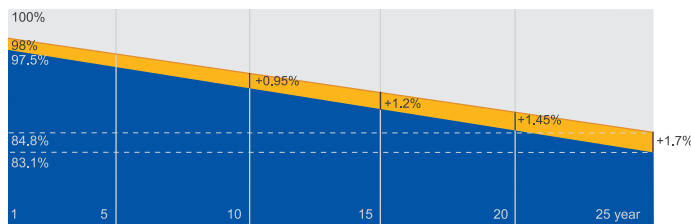


Better mechanical loading tolerance

Superior Warranty

- 12-year product warranty
- 25-year linear power output warranty

0.55% Annual Degradation Over 25 years



■ New linear power warranty ■ Standard module linear power warranty

Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730, UL 61215, UL 61730
- ISO 9001: 2015 Quality management systems
- ISO 14001: 2015 Environmental management systems
- ISO 45001: 2018 Occupational health and safety management systems
- IEC TS 62941: 2016 Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Guidelines for increased confidence in PV module design qualification and type approval



JA SOLAR

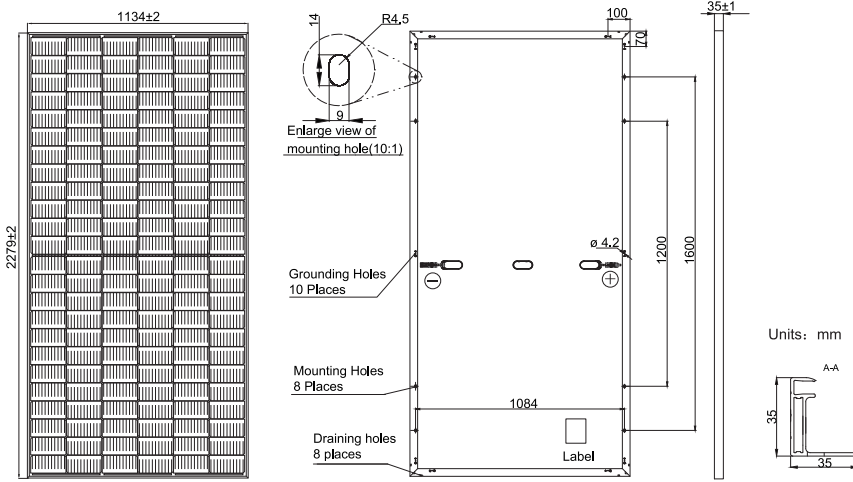
www.jasolar.com

Specifications subject to technical changes and tests.
JA Solar reserves the right of final interpretation.



MECHANICAL DIAGRAMS

SPECIFICATIONS



Cell	Mono
Weight	28.6kg±3%
Dimensions	2279±2mm×1134±2mm×35±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ² (IEC) , 12 AWG(UL)
No. of cells	144(6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	QC 4.10(1000V) QC 4.10-35(1500V)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 300mm(+)/400mm(-); Landscape: 1300mm(+)/1300mm(-)
Packaging Configuration	31pcs/Pallet, 620pcs/40ft Container

Remark: customized frame color and cable length available upon request

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM72S30 -525/MR	JAM72S30 -530/MR	JAM72S30 -535/MR	JAM72S30 -540/MR	JAM72S30 -545/MR	JAM72S30 -550/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	525	530	535	540	545	550
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.15	49.30	49.45	49.60	49.75	49.90
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	41.15	41.31	41.47	41.64	41.80	41.96
Short Circuit Current(Isc) [A]	13.65	13.72	13.79	13.86	13.93	14.00
Maximum Power Current(Imp) [A]	12.76	12.83	12.90	12.97	13.04	13.11
Module Efficiency [%]	20.3	20.5	20.7	20.9	21.1	21.3
Power Tolerance	0~+5W					
Temperature Coefficient of Isc(α _{Isc})	+0.045%/°C					
Temperature Coefficient of Voc(β _{Voc})	-0.275%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax(γ _{Pmp})	-0.350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G					

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer.They only serve for comparison among different module types.

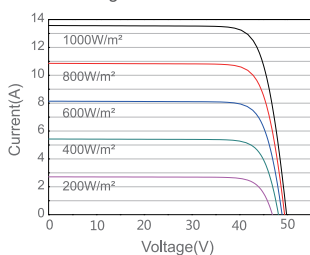
ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

OPERATING CONDITIONS

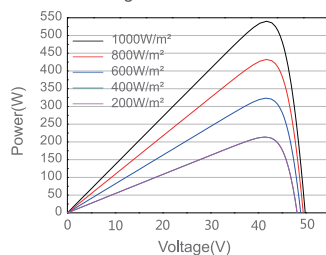
TYPE	JAM72S30 -525/MR	JAM72S30 -530/MR	JAM72S30 -535/MR	JAM72S30 -540/MR	JAM72S30 -545/MR	JAM72S30 -550/MR		
Rated Max Power(Pmax) [W]	397	401	405	408	412	416	Maximum System Voltage	1000V/1500V DC
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	46.05	46.18	46.31	46.43	46.55	46.68	Operating Temperature	-40°C~+85°C
Max Power Voltage(Vmp) [V]	38.36	38.57	38.78	38.99	39.20	39.43	Maximum Series Fuse Rating	25A
Short Circuit Current(Isc) [A]	10.97	11.01	11.05	11.09	11.13	11.17	Maximum Static Load,Front* Maximum Static Load,Back*	5400Pa(112lb/ft ²) 2400Pa(50lb/ft ²)
Max Power Current(Imp) [A]	10.35	10.39	10.43	10.47	10.51	10.55	NOCT	45±2°C
NOCT	Irradiance 800W/m ² , ambient temperature 20°C,wind speed 1m/s, AM1.5G						Safety Class	Class II
							Fire Performance	UL Type 1

CHARACTERISTICS

Current-Voltage Curve JAM72S30-540/MR



Power-Voltage Curve JAM72S30-540/MR



Current-Voltage Curve JAM72S30-540/MR

