



Unidade de Ensino Médio e Técnico - Cetec

ETEC PROFESSOR HORÁCIO AUGUSTO DA SILVEIRA

Técnico em Sistemas de Energia Renovável

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE ENERGIA
SOLAR TÉRMICA NA COZINHA DA ETEC PROF. HORÁCIO
AUGUSTO DA SILVEIRA.**

São Paulo

2025

Aguinaldo Moraes Cordeiro
Flávio Takao Kano
José Cícero Feitosa da Silva
Juarez de Melo Castro
Luciana Lucas Ferreira
Marcelo Antônio de Sousa
Paulo Machado de Melo

Trabalho de conclusão de curso
requerido pelo Professor Gerson Dias da
disciplina de TCC tema: Projeto de
Instalação do boiler e módulo fotovoltaico
apresentado a ETEC Professor Horácio
Augusto da Silveira.

SÃO PAULO

2025

Dedico este trabalho aos nossas famílias pelo estímulo, carinho e compreensão, aos Professores que nos orientarão do início ao término do curso e a Deus por nos sustentar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos professores Alexandre da Silva Lopes, Emerson da Silva Santana e Gerson Dias, bem como aos colegas de sala, pelo incentivo, motivação e orientação ao longo desta caminhada acadêmica.

Agradecemos também à ETEC Professor Horácio Augusto da Silveira pela oportunidade de aprendizado e pelo desenvolvimento científico e tecnológico na área de Sistemas de Energia Renovável.

“Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo.
Todos nós sabemos alguma coisa. Todos nós
ignoramos alguma coisa.”
(FREIRE, 2002, p. 69)

PROJETO DE INSTALAÇÃO DO BOILER E MÓDULO DE AQUECIMENTO SOLAR TÉRMICO

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente

GERSON DIAS

Data: 08/12/2025 19:53:57-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof.

Prof.

Prof.

___ de _____ de 2025 – São Paulo – SP

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso apresenta uma pesquisa sobre a viabilidade técnica de implantação de uma torneira elétrica alimentada por um sistema de aquecimento solar térmico na cozinha da cantina da Escola Técnica Estadual Prof. Horácio Augusto da Silveira, em São Paulo. O projeto previa a instalação de placas solares e de um boiler (reservatório térmico) montado em estrutura metálica externa, com o objetivo de fornecer água aquecida para uma das pias da cozinha industrial. A proposta surgiu da necessidade de otimizar as atividades de preparo, higienização e lavagem de utensílios utilizados nas refeições diárias servidas pela instituição, considerando que a água quente facilita a remoção de resíduos gordurosos e contribui para maior eficiência operacional.

Durante o desenvolvimento do estudo, foram analisados os requisitos técnicos do sistema, sua integração com a infraestrutura existente e os benefícios esperados em termos de economia de energia e sustentabilidade. Entretanto, apesar de sua viabilidade técnica, os custos envolvidos na aquisição dos equipamentos e na instalação completa do sistema inviabilizaram sua implementação em escala real no ambiente da cozinha.

Como alternativa para assegurar a continuidade do aprendizado e demonstrar o funcionamento do processo de aquecimento solar, o grupo desenvolveu um protótipo funcional. Esse protótipo permitiu avaliar todo o ciclo de captação da energia solar, transferência de calor e armazenamento térmico, além de permanecer como recurso pedagógico para uso em aulas futuras, contribuindo para a formação técnica dos estudantes e para a difusão de práticas sustentáveis na escola.

Assim, este trabalho apresenta não apenas a proposta original e sua análise de viabilidade, mas também o produto educacional construído, reafirmando a importância da pesquisa aplicada no contexto escolar e da busca por soluções renováveis para o cotidiano institucional.

Palavras-Chave: Energia, Boiler e Thermal Solar Heating Module.

ABSTRACT

This Final Paper presents a research on the technical feasibility of implementing an electric faucet powered by a solar thermal heating system in the kitchen of the canteen of the Prof. Horácio Augusto da Silveira State Technical School, in São Paulo. The project provided for the installation of solar panels and a boiler (thermal reservoir) mounted on an external metal structure, with the objective of supplying heated water to one of the sinks of the industrial kitchen. The proposal arose from the need to optimize the activities of preparation, cleaning and washing of utensils used in the daily meals served by the institution, considering that hot water facilitates the removal of greasy residues and contributes to greater operational efficiency.

During the development of the study, the technical requirements of the system, its integration with the existing infrastructure and the expected benefits in terms of energy savings and sustainability were analyzed. However, despite its technical feasibility, the costs involved in the acquisition of equipment and the complete installation of the system made it impossible to implement it on a full scale in the kitchen environment.

As an alternative to ensure the continuity of learning and demonstrate the operation of the solar heating process, the group developed a functional prototype. This prototype made it possible to evaluate the entire cycle of solar energy capture, heat transfer and thermal storage, in addition to remaining as a pedagogical resource for use in future classes, contributing to the technical training of students and to the dissemination of sustainable practices in the school.

Thus, this work presents not only the original proposal and its feasibility analysis, but also the educational product constructed, reaffirming the importance of applied research in the school context and the search for renewable solutions for the institutional daily life.

Keywords: Energy, boiler and Photovoltaic Module.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Componentes da Radiação Solar.....	20
Figura 2 - Gráfico de inclinação.....	22
Figura 3 - imagem de boiler instalado.....	25
Figura 4 - geração on grid.....	27
Figura 5 - geração on grid.....	28
Figura 1 - Fachada frontal da unidade.....	33
Figura 6 - Mapa da região da unidade.....	33
Figura 7 - Localização da unidade.....	34
Figura 8 - Projeto planta baixa da cozinha.....	34
Figura 9 - Instalação do modelo de coletor solar.....	40
Figura 10 -Tabela das temperaturas do ano	41
Figura 11 - Esquema de instalação de desnível.....	42

..

Sumário

1 - Introdução

1.1 Objetivo Geral.....	13
1.2 Objetivos Específicos	13
1.2 - JUSTIFICATIVA	14
1.3- Metodologia	15
1.4 - Levantamento de Dados e Diagnóstico Inicial	15
1.5 - Pesquisa Bibliográfica e Referencial Técnico	16
1.6 - Dimensionamento do Sistema de Aquecimento Solar	16
1.7 Dimensionamento do Sistema de Aquecimento Solar.....	17
1.8 - Desenvolvimento do Protótipo em Menor Escala	18
1.9 - Documentação, Registro e Elaboração do Relatório Final.....	18
2- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1 - O que é energia solar térmica	19
2.2 - Energia e geração elétrica.....	22
2.3 - Energia e desenvolvimento sustentável	22
2.4 - Energia Solar	22
2.5 - Potencial solar no Brasil	23
2.6 - Energia solar térmica.....	24
2.7 - Histórico da energia solar	24
2.8 - Tipos de sistemas solares.....	25
2.8.1 Sistema On-Grid.....	26
2.9 - Componentes de um sistema solar térmico	29
2.10 - Coletores solares	29
2.11 - Reservatório térmico (Boiler).....	29
2.12 - Tubulações	30
2.13 - Misturador de água	30
2.14 - Suportes e estrutura	30
2.15 - Normas técnicas aplicáveis	30

3 - Desenvolvimento do projeto.....	31
3.1- Localização da escola.....	31
3.2 - Projeto da cozinha	33
3.3- Coleta de dados para estudo de caso.....	35
3.3.1. Proposta Inicial do Sistema	35
3.3.2. Coleta de Dados e Estudo dos Componentes do Sistema	38
3.3.3. Obstáculos e Limitações Encontradas.....	42
3.3.4. Alterações no Planejamento e Desenvolvimento do Protótipo	43
3.3.5. Preparação para Continuidade do Projeto em Turmas Futuras.....	44
3.3.6 - Levantamento do Consumo Diário de Água	44
3.3.7 Orçamento para desenvolvimento do projeto executivo	47
3.3.8 - Local na área externa onde serão instalados os equipamentos, como o reservatório e os boilers.....	51
4 – Desenvolvimento do Protótipo.....	53
4.1 - Componentes do Sistema	53
4.1.1 Caixa-d'água.....	53
4.1.2 Boiler (Reservatório Térmico)	54
4.1.3 Placa ou Coletor Solar	56
4.1.4 Tubulações e Acessórios.....	57
4.1.5 - Funcionamento do Sistema de Aquecimento Solar	57
4.1.6 - Aplicação do Protótipo no Projeto.....	58
5 - Conclusão.....	61
6 - Referências Bibliográficas	62

1. INTRODUÇÃO

O uso de fontes de energia renovável tem crescido de forma significativa no Brasil, impulsionado pela necessidade de reduzir impactos ambientais, diversificar a matriz energética e promover soluções mais econômicas e sustentáveis. O país possui condições favoráveis para o aproveitamento de diferentes modalidades de energia limpa, tais como a energia hidrelétrica, que representa grande parte da geração nacional; a energia eólica, amplamente desenvolvida no Nordeste; a biomassa, relacionada ao aproveitamento de resíduos orgânicos e agrícolas; e a energia solar, que se destaca pela abundância e disponibilidade ao longo de todo o território brasileiro.

Entre as fontes renováveis, a energia solar tem se consolidado como uma das alternativas mais promissoras, especialmente devido à sua versatilidade e à elevada incidência de radiação solar no Brasil. Essa fonte pode ser utilizada tanto para geração de eletricidade, por meio dos módulos fotovoltaicos, quanto para aquecimento de água, utilizando sistemas solares térmicos. Essa segunda aplicação apresenta excelente desempenho em residências, comércios e instituições públicas, contribuindo para a redução do consumo de energia elétrica e para a adoção de práticas ambientalmente responsáveis.

Considerando esse cenário, o presente Trabalho de Conclusão de Curso investiga a aplicação prática da energia solar transformada em energia térmica para alimentar uma torneira de água quente na cozinha de uma escola. O ambiente escolar selecionado demanda água aquecida para facilitar a lavagem de utensílios engordurados e otimizar o preparo dos alimentos servidos diariamente. Para atender essa necessidade, propõe-se a implantação de um sistema composto por placas solares e um boiler, instalados sobre uma base metálica posicionada na área externa da cozinha.

No sistema estudado, a radiação solar é captada pelos módulos, convertida em calor e transferida para o boiler, que funciona como reservatório térmico.

Dessa forma, a água aquecida é armazenada e disponibilizada continuamente, atendendo às necessidades das funcionárias durante as cinco refeições diárias preparadas pela instituição. A adoção dessa tecnologia busca não apenas melhorar as condições de trabalho, mas também promover maior eficiência energética, reduzir o consumo de eletricidade e incentivar práticas sustentáveis no ambiente escolar.

1.1 OBJETIVO GERAL

Implementar um sistema de aquecimento solar na cozinha da escola, utilizando módulos solares e um boiler instalado sobre base metálica posicionada na cobertura e na lateral superior externa da cozinha, juntamente com todos os componentes necessários para o seu pleno funcionamento incluindo tubulações específicas, cabos elétricos, conexões hidráulicas e dispositivos eletrônicos de controle. O objetivo é assegurar o fornecimento contínuo de água aquecida, promovendo maior eficiência energética, reduzindo o consumo de eletricidade e fortalecendo práticas sustentáveis no ambiente escolar.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dimensionar tecnicamente o sistema de aquecimento solar, definindo a capacidade do boiler, a quantidade de módulos solares, o tipo de tubulação, os cabos e dispositivos eletrônicos necessários, de modo a atender à demanda de água quente da cozinha durante todo o período de funcionamento escolar.

- ✓ Descrever e elaborar o projeto de instalação, considerando o posicionamento correto das placas solares, a fixação da base metálica, o traçado da rede hidráulica e a integração dos dispositivos de controle e segurança envolvidos no processo.
- ✓ Avaliar a eficiência energética do sistema, realizando comparações entre o consumo de energia elétrica antes e depois da implantação, quantificando possíveis reduções e ganhos operacionais.
- ✓ Monitorar parâmetros de desempenho, como temperatura da água, fluxo, tempo de aquecimento, autonomia térmica e regularidade de abastecimento, garantindo que o sistema mantenha condições

adequadas para atender as cinco refeições diárias (café da manhã, lanche da manhã, almoço, lanche da tarde e jantar).

- ✓ Analisar a viabilidade econômica e ambiental do projeto, considerando custos de instalação, manutenção, economia potencial ao longo dos anos e os benefícios ambientais relacionados ao uso de energia renovável.
- ✓ Registrar e documentar o processo de implementação, de forma a produzir um material técnico e didático que possa servir como referência para futuras aplicações, treinamentos ou adaptações dentro do ambiente escolar.

1.2 - JUSTIFICATIVA

A implantação de um sistema de aquecimento solar na cozinha responsável pelo preparo da alimentação dos alunos apresenta-se como uma alternativa sustentável, eficiente e alinhada às práticas de uso racional de energia nas instituições públicas de ensino. A demanda por água aquecida nesse ambiente é diária e significativa, especialmente para a lavagem de utensílios engordurados e para o preparo de alimentos servidos nas cinco refeições fornecidas à comunidade escolar. Atualmente, o uso de água quente depende de métodos convencionais, como energia elétrica ou gás, que além de elevar os custos operacionais, aumentam o impacto ambiental da unidade.

O aproveitamento da energia solar uma fonte limpa, renovável e amplamente disponível no Brasil permite reduzir o consumo de eletricidade, diminuir a emissão de gases de efeito estufa e promover maior eficiência energética no ambiente escolar. A proposta de utilização de módulos solares associados a um boiler oferece um sistema capaz de fornecer água aquecida de forma contínua e segura, contribuindo diretamente para a melhoria das condições de trabalho das funcionárias e para a otimização dos processos de higiene e preparo dos alimentos.

Entretanto, devido à ausência de recursos financeiros e à falta de doações ou incentivos que permitam a implementação física do projeto em escala real, este Trabalho de Conclusão de Curso concentra-se na elaboração de um estudo teórico detalhado da solução e no desenvolvimento de um protótipo em menor escala. Esse protótipo possibilita a demonstração prática dos princípios de funcionamento do sistema de aquecimento solar, oferecendo à escola um recurso pedagógico capaz de apoiar futuras aulas, pesquisas e análises sobre energias renováveis.

Assim, o presente estudo justifica-se por seu caráter técnico, educacional e ambiental, contribuindo tanto para a formação dos estudantes quanto para o planejamento de uma futura instalação real do sistema, caso haja condições para sua execução. A relevância do projeto reside na viabilidade de promover economia, sustentabilidade e inovação tecnológica dentro do ambiente escolar.

1.3- METODOLOGIA

A metodologia adotada neste Trabalho de Conclusão de Curso foi estruturada em etapas sequenciais que permitem compreender, dimensionar e simular o funcionamento de um sistema de aquecimento solar aplicado ao ambiente escolar. O desenvolvimento do projeto combina pesquisa teórica, levantamento de informações em campo, cálculos técnicos, elaboração de protótipo e análise dos resultados obtidos. As etapas foram organizadas da seguinte forma:

1.4 - LEVANTAMENTO DE DADOS E DIAGNÓSTICO INICIAL

Nesta etapa, realizou-se a coleta de informações essenciais sobre o funcionamento da cozinha escolar, incluindo:

- Observação do uso diário de água quente para higienização e preparo dos alimentos;
- Identificação dos pontos da cozinha onde o aquecimento da água é necessário;

- Registro da rotina de funcionamento (cinco refeições diárias);
- Levantamento preliminar do consumo elétrico associado a métodos convencionais de aquecimento;
- Verificação das condições físicas da área externa para instalação de placas solares e do boiler, considerando orientação solar e disponibilidade de espaço.

Essa etapa permitiu compreender a demanda real da unidade escolar e estabelecer os parâmetros de referência utilizados nas fases seguintes do estudo.

1.5 - PESQUISA BIBLIOGRÁFICA E REFERENCIAL TÉCNICO

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre:

- Funcionamento dos sistemas solares térmicos;
- Características dos coletores solares, boilers e seus princípios de transferência de calor;
- Normas técnicas aplicáveis (como NBR 15569 e NBR 7198);
- Estudos sobre eficiência energética e sustentabilidade no uso de energias renováveis.

O objetivo dessa etapa foi embasar o projeto com conceitos atualizados e garantir a aplicação correta das diretrizes técnicas.

1.6 - DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

Com base nos dados coletados, foi realizado o dimensionamento teórico do sistema. As atividades incluíram:

- Cálculo do volume diário de água quente necessário para atender toda a rotina da cozinha;

- Estimativa da energia térmica requerida para elevar a temperatura da água aos níveis adequados para uso;
- Definição da capacidade ideal do boiler e da quantidade de coletores solares;
- Determinação dos materiais mais adequados para as tubulações (CPVC ou PPR), conexões, suportes e dispositivos de segurança;
- Estudo do posicionamento do boiler e das placas solares em base metálica, observando inclinação, orientação e sombreamento

1.7 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

Com base nos dados coletados, foi realizado o dimensionamento teórico do sistema. As atividades incluíram:

- Cálculo do volume diário de água quente necessário para atender toda a rotina da cozinha;
- Estimativa da energia térmica requerida para elevar a temperatura da água aos níveis adequados para uso;
- Definição da capacidade ideal do boiler e da quantidade de coletores solares;
- Determinação dos materiais mais adequados para as tubulações (CPVC ou PPR), conexões, suportes e dispositivos de segurança;
- Dimensionamento Elétrico Complementar, estudo do posicionamento do boiler e das placas solares em base metálica, observando inclinação, orientação e sombreamento
- Identificação dos dispositivos eletrônicos necessários ao controle do sistema.
- Cálculo básico da alimentação elétrica (cabos, disjuntor bipolar e percurso aproximado).

1.8 - DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO EM MENOR ESCALA

Considerando a inviabilidade financeira da instalação real, foi elaborado um protótipo funcional que demonstra os princípios do sistema solar de aquecimento. Essa etapa envolveu:

- construção de uma miniestrutura representando o boiler e os coletores;
- representação simplificada das tubulações e fluxo de água;
- demonstração do processo de captação da radiação solar e transferência de calor;
- montagem em bancada ou suporte portátil para fins pedagógicos.

O protótipo serve como ferramenta prática para visualização do funcionamento do sistema e apoio didático ao ambiente escolar.

1.9 - DOCUMENTAÇÃO, REGISTRO E ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO FINAL

Por fim, todas as etapas foram registradas e organizadas no relatório do TCC. Foram produzidos:

- descrições técnicas detalhadas do sistema;
- plantas, esquemas e diagramas explicativos;
- tabelas de dimensionamento;
- registros fotográficos da construção do protótipo;
- análise final dos resultados, conclusões e recomendações para a implementação real futura.

2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 - O QUE É ENERGIA SOLAR TÉRMICA

A energia solar tem se destacado como uma das alternativas mais eficientes e sustentáveis para o aquecimento de água em ambientes residenciais, comerciais e institucionais. Por ser uma fonte limpa, renovável e amplamente disponível, especialmente em países tropicais como o Brasil, sua aplicação apresenta grande potencial devido à elevada incidência de radiação solar ao longo do ano. Segundo Pereira et al. (2017), mesmo as regiões brasileiras com menor irradiação possuem desempenho superior ao de países europeus que lideram o uso dessa tecnologia.

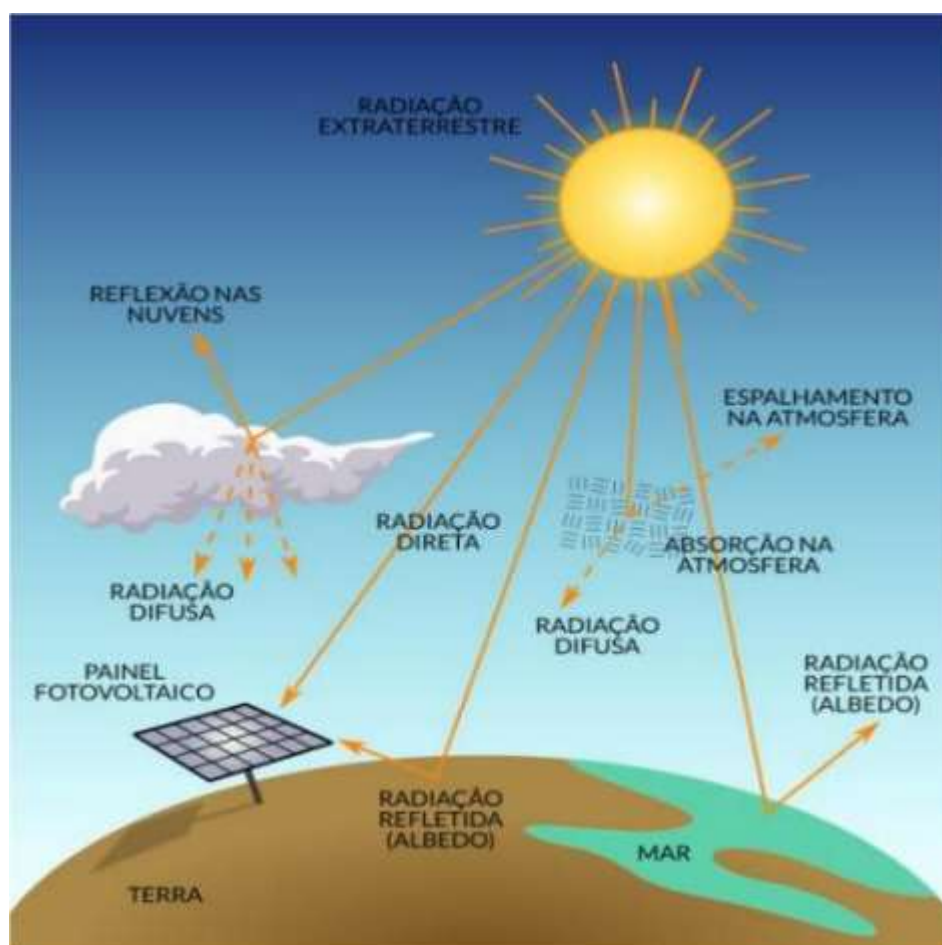


Figura 1. Componentes da Radiação Solar - Fonte: Tiepolo et al., 2017

Por isso que, quando se considera a energia solar em um dia, ou em um ano, mesmo que num mesmo local, ela não deve ser considerada constante. A maioria dessas mudanças é atribuída à geografia terrestre e seus movimentos astronômicos de rotação e translação, o que torna os recursos um tanto previsíveis. No entanto, mudanças causadas por fenômenos climáticos (como a formação de nuvens) são adicionadas a essas mudanças, e essas mudanças são mais difíceis de prever (TOLMASQUIM, 2016).

No cenário atual, marcado pela necessidade de reduzir impactos ambientais e otimizar o consumo energético, a energia solar térmica torna-se essencial para o desenvolvimento sustentável. Macedo et al. (2020) destacam que sistemas de aquecimento solar contribuem significativamente para a redução do uso de eletricidade e para a diminuição dos custos operacionais, além de mitigar emissões associadas à geração termelétrica. Reis (2011) reforça que ampliar o uso de fontes renováveis é fundamental para a segurança e diversificação da matriz energética.

A energia solar que chega à superfície terrestre não é constante ao longo do dia nem ao longo do ano, mesmo em um mesmo local. Segundo Tolmasquim (2016), essa variação ocorre principalmente por causa das características geográficas da Terra e de seus movimentos de rotação e translação. Esses fatores fazem com que o comportamento da radiação solar siga padrões relativamente previsíveis. No entanto, fenômenos climáticos, como a formação de nuvens, introduzem variações adicionais que são mais difíceis de antecipar.

Tolmasquim (2016) também destaca que, devido à grande distância entre o Sol e a Terra, os raios solares chegam praticamente paralelos e com intensidade quase constante quando incidem perpendicularmente à atmosfera. Contudo, como a superfície terrestre apresenta diferentes inclinações, nem sempre os raios solares chegam perpendicularmente ao solo. Isso reduz a irradiância no plano horizontal e faz com que a quantidade de energia recebida dependa diretamente da posição da Terra e do ângulo de incidência solar.

Além da geometria da Terra, a atmosfera exerce influência significativa. De acordo com Schmalensee (2015), toda superfície emite radiação térmica, chamada radiação de corpo negro, e sua temperatura determina o espectro dessa emissão. Quando a luz solar atravessa a atmosfera, ela interage com moléculas como vapor d'água, dióxido de carbono e ozônio. Parte dessa radiação é absorvida ou refletida, afetando a quantidade de energia que realmente chega ao solo.

Pereira et al. (2017) explicam que dois ciclos determinam a variação temporal da incidência solar: o diário e o anual. O ciclo anual é consequência da inclinação do eixo terrestre, de aproximadamente $23,45^\circ$, em relação ao plano da

órbita da Terra. Essa inclinação define as estações do ano e altera tanto a duração do dia quanto a altura aparente do Sol no céu. O solstício marca o momento em que o Sol atinge sua maior declinação em relação ao equador, enquanto o equinócio ocorre quando o Sol cruza o equador celeste. No hemisfério sul, o verão ocorre quando o polo Sul recebe maior quantidade de radiação solar; o inverso acontece no inverno.

No que se refere à inclinação de módulos solares, recomenda-se ajustar o ângulo de acordo com a latitude do local. Conforme discutido em materiais técnicos, em um ponto com latitude L , o ângulo ideal de inclinação no solstício de verão (cerca de 21/12) é $L - 23,45^\circ$, enquanto no solstício de inverno (21/06) o módulo deve estar inclinado em $L + 23,45^\circ$. O valor $23,45^\circ$ corresponde à declinação axial da Terra, responsável pela variação anual da trajetória solar. Alguns autores sugerem utilizar $L \pm 15^\circ$ como aproximação média entre os extremos de inclinação solar ao longo do ano. Em sistemas fixos, para não favorecer nenhuma estação específica, a recomendação mais comum é utilizar a própria latitude do local como ângulo padrão de inclinação (CANAL SOLAR, s.d.).

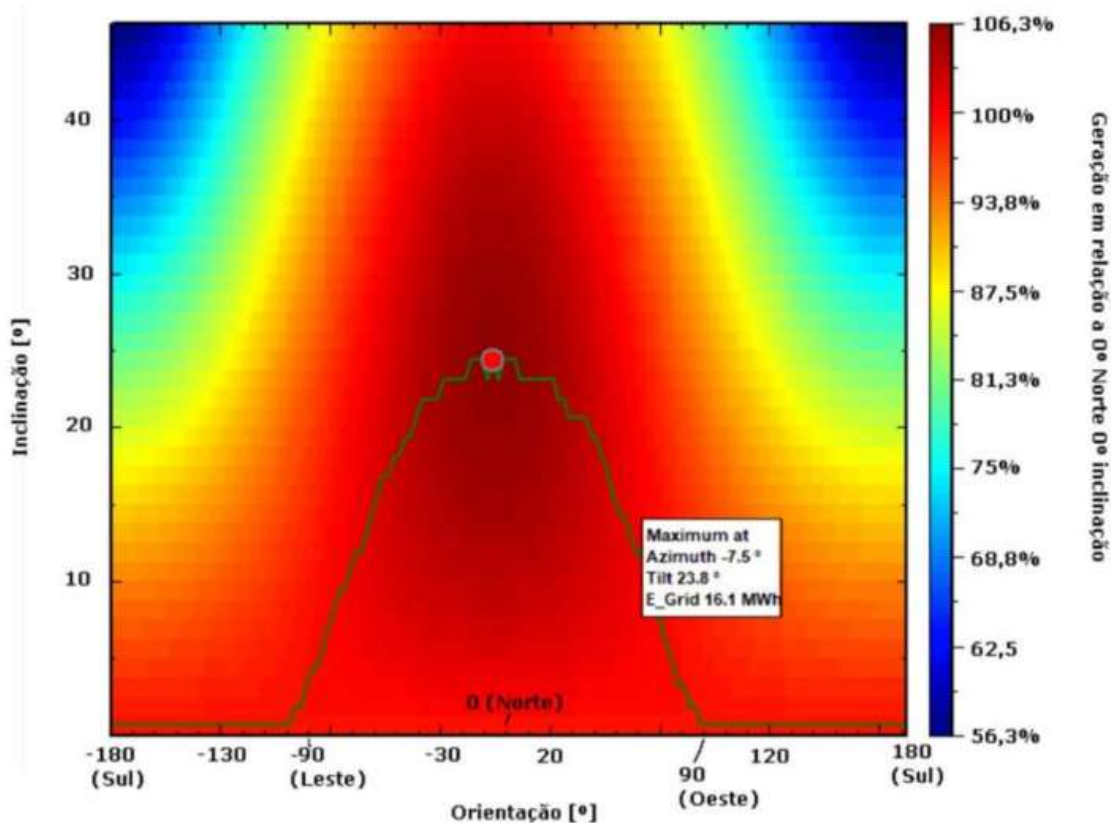


Figura 2 - Gráfico de inclinação

Fonte: Site <https://canalsolar.com.br-dez.2025>

Este capítulo apresenta os fundamentos da energia solar térmica, tomando como referência manuais técnicos especializados, o material *Energia Solar Térmica: Uso de Coletores Solares para um Sistema de Aquecimento de Água Residencial* (Macedo et al., 2020), conteúdos acadêmicos da Etec Professor Horácio Augusto da Silveira e demais publicações relevantes da área. A fundamentação teórica tem por finalidade sustentar o projeto de implantação de um sistema de aquecimento solar voltado ao abastecimento de água quente na cozinha escolar, destacando sua pertinência enquanto alternativa tecnicamente viável, economicamente eficiente e ambientalmente sustentável.

2.2 - ENERGIA E GERAÇÃO ELÉTRICA

A compreensão das fontes de energia é fundamental para a análise de sistemas renováveis. Reis (2011) explica que as fontes primárias podem ser classificadas em renováveis e não renováveis. As fontes não renováveis como petróleo, gás natural e combustíveis radioativos apresentam risco de esgotamento, pois são consumidas em ritmo superior ao tempo necessário para sua recomposição natural. Em muitos países, a geração elétrica a partir dessas fontes ocorre mediante processos termelétricos, nos quais a energia térmica é convertida em eletricidade.

Por outro lado, as fontes renováveis, como hidrelétrica, eólica, biomassa e solar, são repostas pela natureza em uma velocidade compatível com seu uso energético. Tais fontes podem ser utilizadas para geração de eletricidade ou para aplicações térmicas, com destaque para a energia solar.

2.3 - ENERGIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Para que ocorra um desenvolvimento energético sustentável, é necessário que o setor incorpore tecnologias inovadoras, reduza impactos ambientais e promova uso racional dos recursos naturais. Isto inclui a transição para fontes limpas e de baixo impacto, como a solar, que contribui diretamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a diversificação da matriz energética.

2.4 - ENERGIA SOLAR

Pacheco (2006) define a energia solar como a energia proveniente da radiação emitida pelo Sol, a qual pode ser aproveitada de diferentes formas, principalmente para a geração de eletricidade e para o aquecimento de ambientes e água. Segundo o autor, a adoção de sistemas que utilizam essa fonte renovável pode proporcionar uma redução de até 70% no consumo de energia proveniente de fontes convencionais, como a eletricidade da rede ou o gás.

Do ponto de vista técnico, a radiação solar que atinge a superfície terrestre pode ser convertida em dois tipos principais de energia: térmica e elétrica.

- **Energia solar térmica:** é obtida por meio de coletores solares, que captam a radiação e a transformam em calor. Esse calor é transferido para a água ou outro fluido térmico, sendo posteriormente armazenado em reservatórios (boilers). Sistemas térmicos são amplamente utilizados em residências, escolas, hospitais e instalações comerciais para o suprimento de água quente, devido à sua eficiência e baixo custo operacional.
- **Energia solar elétrica:** é gerada principalmente por dois sistemas:
 1. **Sistemas fotovoltaicos**, que convertem diretamente a radiação solar em energia elétrica por meio de células fotovoltaicas.
 2. **Sistemas termelétricos**, que utilizam a energia térmica concentrada para produzir vapor e acionar turbinas, gerando eletricidade de forma semelhante às usinas tradicionais.

A escolha entre sistemas fotovoltaicos e sistemas térmicos depende do objetivo da aplicação. No contexto do aquecimento de água, como no caso de cozinhas escolares, os sistemas térmicos apresentam maior eficiência energética, menor custo de implantação e operação, além de contribuírem para a redução do impacto ambiental associado ao uso de combustíveis fósseis.

2.5 - POTENCIAL SOLAR NO BRASIL

O Brasil apresenta um dos maiores potenciais solares do mundo. Segundo Pereira et al. (2017), o local menos ensolarado do Brasil ainda recebe mais radiação solar do que o local mais ensolarado da Alemanha. Isso demonstra a ampla viabilidade de adoção de tecnologias solares no país.

A geração tende a ser maior nos meses de verão, coincidindo com os períodos de maior consumo nas regiões Sudeste e Sul. A adoção de sistemas solares contribui para a redução dos picos de demanda no Sistema Interligado Nacional (SIN), favorecendo a estabilidade energética.

2.6 - ENERGIA SOLAR TÉRMICA

Este trabalho tem como foco a energia solar térmica, tecnologia utilizada para o aquecimento de água por meio de coletores solares. De acordo com Macedo et al. (2020), os coletores captam a radiação solar e a convertem em calor, que é transferido para a água circulante no sistema. Essa água quente é então armazenada em um reservatório térmico (boiler), permitindo seu uso contínuo mesmo em períodos sem sol.

Manuais técnicos da empresa Soletrol (2023) reforçam que o desempenho do sistema depende do dimensionamento correto do coletor, da capacidade do reservatório, da inclinação das placas e do isolamento térmico das tubulações. Além desses fatores, a posição relativa entre o boiler e o coletor também é determinante, uma vez que sistemas por termossifão exigem que o reservatório esteja em nível superior ao coletor para permitir a circulação natural da água. A escolha adequada dos materiais como tubulações em CPVC, conexões resistentes a altas temperaturas e isolamento eficiente contribui diretamente para a durabilidade do sistema. Além disso, estudos de viabilidade e análise das condições climáticas locais são essenciais para garantir o melhor aproveitamento da radiação solar. Dessa forma, o projeto torna-se tecnicamente consistente e alinhado às diretrizes de eficiência energética e sustentabilidade.

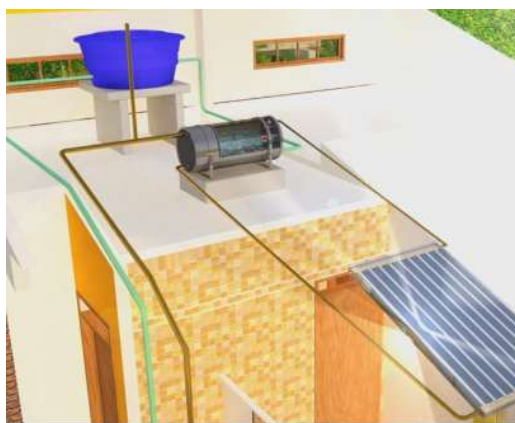


Figura 3 – imagem de boiler instalado

2.7 - HISTÓRICO DA ENERGIA SOLAR

O uso da energia solar para aquecimento é uma prática antiga que remonta às primeiras civilizações. Povos como gregos e romanos já planejavam a orientação de suas construções com o objetivo de captar o calor do sol e aquecer ambientes de forma natural, demonstrando um entendimento inicial sobre o aproveitamento passivo da radiação solar. No século XVIII, surgiram os primeiros dispositivos experimentais voltados ao aquecimento ativo, como o concentrador solar de Lavoisier, considerado um marco na tentativa de transformar a luz solar em uma fonte de calor controlada e mais eficiente.

Ao longo do século XX, essa tecnologia passou por avanços expressivos, impulsionados pelo desenvolvimento de novos materiais, como superfícies seletivas, semicondutores e isolantes térmicos de maior desempenho. A corrida espacial, ocorrida entre as décadas de 1950 e 1970, contribuiu decisivamente para o aprimoramento dos painéis solares modernos, que serviriam de modelo para os coletores e sistemas térmicos utilizados atualmente (BOYCE, 2019; RÜTHER, 2004).

No Brasil, o uso da energia solar térmica começou a ganhar destaque a partir da década de 1970, especialmente durante a crise do petróleo, quando se tornou necessário buscar alternativas energéticas que reduzissem a dependência de combustíveis fósseis. Empresas nacionais, como Soletrol e Kisol, iniciaram a produção dos primeiros coletores solares fabricados em território brasileiro, tornando essa tecnologia mais acessível à população. O país, por possuir elevada incidência solar em praticamente todas as regiões, consolidou-se como um dos mercados mais favoráveis para a expansão dessa energia renovável. Programas de incentivo, como políticas de eficiência energética e o crescimento do setor da construção civil, ampliaram ainda mais a adoção de sistemas de aquecimento solar em residências, hotéis, clubes, escolas e hospitais.

Nos dias de hoje, o uso de coletores solares está amplamente difundido, especialmente em regiões de clima quente ou com maior número de dias ensolarados. Esses sistemas são utilizados principalmente para o aquecimento de água doméstica, oferecendo uma alternativa sustentável e econômica que reduz significativamente o consumo de energia elétrica. Avanços recentes tornaram os equipamentos mais seguros, eficientes e acessíveis, permitindo que cada vez mais famílias e instituições adotem soluções baseadas em energia solar como fonte limpa, confiável e ambientalmente responsável. Assim, o aquecimento solar térmico consolida-se como uma tecnologia madura e fundamental no contexto da transição energética e da sustentabilidade.

2.8 - TIPOS DE SISTEMAS SOLARES

Apesar de o foco deste trabalho ser o uso **térmico**, é importante mencionar que os sistemas solares podem ser:

- 2.8.1 SISTEMA ON-GRID



Figura 4 – geração on grid

- Os sistemas On-Grid, também chamados de conectados à rede, são integrados diretamente ao sistema público de distribuição de energia elétrica. Conforme descrito pela ENEL (2016), esse tipo de instalação opera em sincronia com a concessionária local:
- Quando o sistema gera mais energia do que o consumo imediato, o excedente é enviado à rede elétrica.
- Esse excedente é registrado por um medidor bidirecional, gerando créditos energéticos utilizados para reduzir a conta de luz.
- Caso a geração não seja suficiente, a energia faltante é automaticamente suprida pela própria rede.
- Componentes principais do sistema On-Grid
- Segundo Soletrol (2020) e ENEL (2016), as instalações On-Grid são compostas principalmente por:
- Módulos fotovoltaicos: responsáveis pela captação da radiação solar e sua conversão em corrente contínua (CC).

- Inversor interativo (grid tie): converte a corrente contínua em corrente alternada (CA), compatível com a rede elétrica e com os equipamentos domésticos.
- String box com dispositivos de proteção (disjuntores, DPS e chave seccionadora).
- Medidor bidirecional: registra a energia consumida e injetada.
- Sistema de monitoramento: permite acompanhar produção, desempenho e possíveis falhas.
- Vantagens do sistema On-Grid
- Custo de instalação mais baixo, pois não utiliza baterias.
- Maior eficiência energética global.
- Possibilidade de compensação de energia conforme a legislação vigente (ANEEL, Resolução Normativa 482/2012 e atualizações).
- Ideal para locais com acesso estável à rede elétrica.
- Limitações
- Em caso de falta de energia da concessionária, o sistema desliga automaticamente por segurança (anti-ilhamento).
- Não é indicado para regiões isoladas ou com muitas interrupções no fornecimento.

2.8.2 - Sistema Off-Grid



Figura 5 – geração on grid

- Os sistemas Off-Grid, ou isolados, são instalações totalmente independentes da rede elétrica, sendo bastante utilizados em áreas rurais, comunidades remotas ou aplicações específicas onde o acesso à rede é inviável. Conforme ENEL (2016), toda a energia gerada é armazenada em baterias, o que garante funcionamento mesmo na ausência de radiação solar.
- Componentes principais do sistema Off-Grid
- Além dos módulos fotovoltaicos, esses sistemas exigem uma arquitetura mais completa, incluindo:
 - Controlador de carga: gerencia a entrada de energia proveniente dos painéis e regula o processo de carga e descarga do banco de baterias, evitando sobrecargas.
 - Banco de baterias: responsável por armazenar a energia gerada para uso posterior.
 - Inversor autônomo (off-grid): converte a corrente contínua armazenada nas baterias em corrente alternada para alimentação dos equipamentos.
 - Chaves de proteção, fusíveis e DPS dedicados ao circuito CC.
- Vantagens do sistema Off-Grid

- Funcionamento totalmente independente da concessionária.
- Ideal para locais sem acesso à rede elétrica.
- Garantia de funcionamento mesmo sem radiação solar, graças ao armazenamento.
- Limitações
 - Custo de implantação mais elevado devido às baterias.
 - Menor eficiência global quando comparado ao sistema On-Grid.
 - As baterias possuem vida útil limitada (geralmente 3 a 10 anos).
 - Necessidade de manutenção periódica.
- Aplicações típicas
 - Iluminação pública em áreas isoladas.
 - Bombeamento de água rural.
 - Escolas, postos de saúde e residências em comunidades remotas.
 - Sistemas de monitoramento ambiental.
- **Térmicos:** destinados ao aquecimento de água por coletores, como o sistema adotado neste TCC.

2.9 - COMPONENTES DE UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO

De acordo com Macedo et al. (2020) e manuais da Soletrol, um sistema solar térmico é composto pelos seguintes elementos:

2.10 - COLETORES SOLARES

Responsáveis pela captação de radiação e aquecimento da água. Geralmente são construídos com tubos de cobre e aletas metálicas de alta absorção térmica.

2.11 - RESERVATÓRIO TÉRMICO (BOILER)

Armazena a água aquecida e mantém a temperatura por até 24 horas. Pode ser fabricado em aço inox, cobre ou polipropileno e apresenta isolamento térmico reforçado (MOGAWER; SOUZA, 2004).

2.12 - TUBULAÇÕES

As tubulações de água quente podem ser de cobre ou CPVC, desde que dimensionadas para temperaturas de operação dos coletores.

2.13 - MISTURADOR DE ÁGUA

Permite controlar a temperatura final, misturando água fria e quente conforme a necessidade do usuário.

2.14 - SUPORTES E ESTRUTURA

Responsáveis pela fixação dos coletores e do boiler, garantindo inclinação adequada para captação solar.

2.15 - NORMAS TÉCNICAS APLICÁVEIS

A instalação de sistemas solares térmicos deve seguir normas específicas da ABNT, garantindo segurança e eficiência. Entre as principais:

- **NBR 10184** — Coletores solares.
- **NBR 10185** — Reservatórios térmicos.
- **NBR 12269** — Instalações hidráulicas para água quente.

Essas normas orientam o dimensionamento, instalação e manutenção dos sistemas utilizados no aquecimento solar de água.

3 - DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

3.1- LOCALIZAÇÃO DA ESCOLA

A Escola Técnica Estadual Professor Horácio Augusto da Silveira (Etec HAS) é uma instituição pública de ensino pertencente ao Centro Paula Souza (CPS), autarquia do Governo do Estado de São Paulo responsável pela administração das Etecs e Fatecs. Localizada na Rua Alcântara, nº 113, no bairro da Vila Guilherme, zona norte da cidade de São Paulo, a Etec se destaca pela facilidade de acesso e pela proximidade com importantes vias, como a Marginal Tietê e a Avenida General Ataliba Leonel, além de contar com transporte público variado em seu entorno.

Inaugurada em 1976, a Etec recebeu o nome do professor Horácio Augusto da Silveira em homenagem ao educador e pesquisador que se destacou pelas contribuições à formação técnica e ao desenvolvimento de políticas educacionais voltadas para a preparação profissional dos jovens paulistas. Desde sua criação, a instituição tem como missão oferecer

educação de qualidade, gratuita e alinhada às demandas do mercado de trabalho e do desenvolvimento tecnológico.

Ao longo de sua trajetória, a Etec consolidou-se como referência em ensino técnico na região norte de São Paulo, atendendo estudantes de diferentes faixas etárias e oferecendo cursos nas áreas de mecânica, eletrônica, informática, logística, administração, paisagismo, entre outras modalidades integradas, concomitantes e subsequentes ao ensino médio.

A escola dispõe de laboratórios equipados, oficinas didáticas, ambientes de aprendizagem atualizados e infraestrutura adequada para atividades práticas e projetos interdisciplinares.

Além de sua função pedagógica, a Etec desempenha papel social importante, promovendo inclusão educacional, formação cidadã e incentivo à sustentabilidade. Por esse motivo, a instituição foi escolhida como local para o desenvolvimento deste estudo, que visa propor um sistema de aquecimento solar térmico para abastecimento de água quente na cozinha escolar. O projeto dialoga com os valores institucionais da escola, reforçando seu compromisso com inovação tecnológica, eficiência energética e práticas sustentáveis no ambiente educacional.



Figura 2 - Fachada frontal da unidade – fonte: Google maps

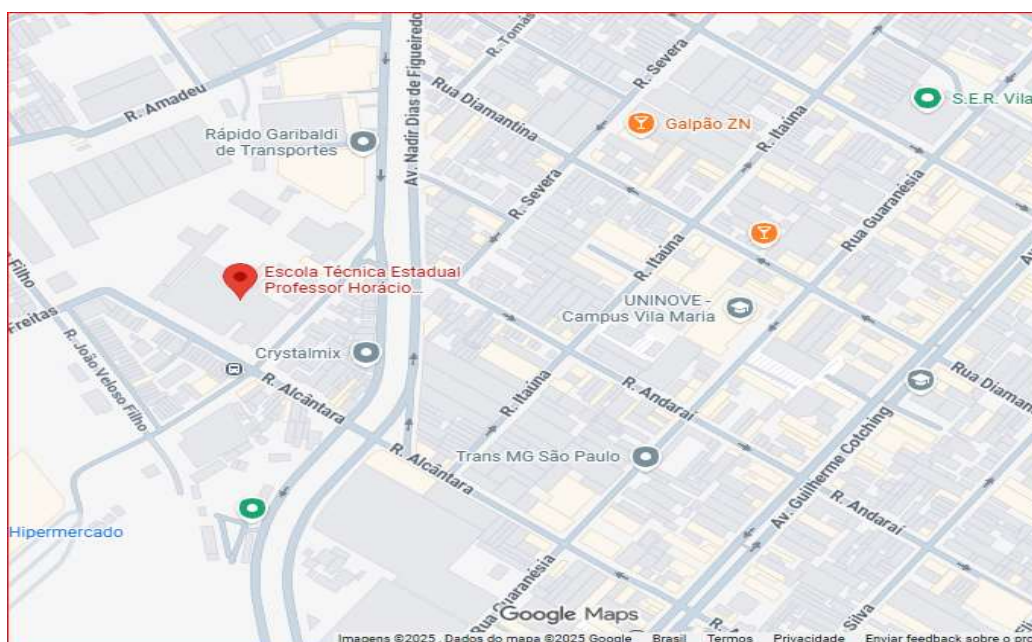


Figura 6 - Mapa da região da unidade – fonte:Google maps

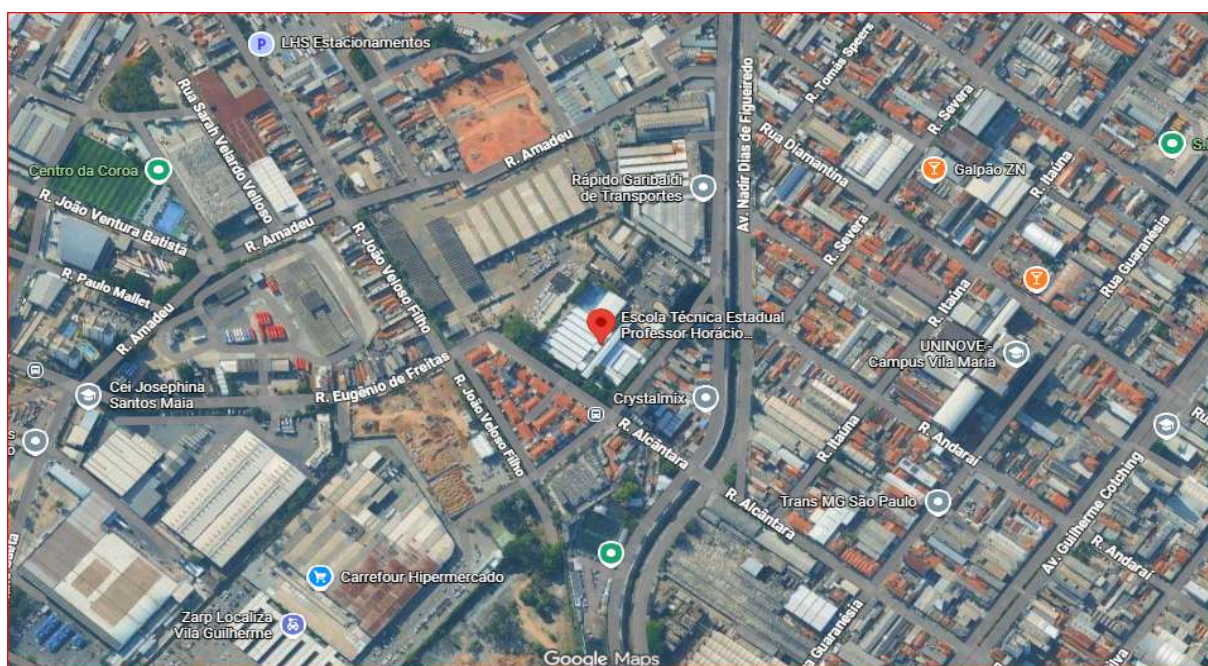


Figura 7 – Localização da unidade- fonte:Google maps

3.2 - PROJETO DA COZINHA

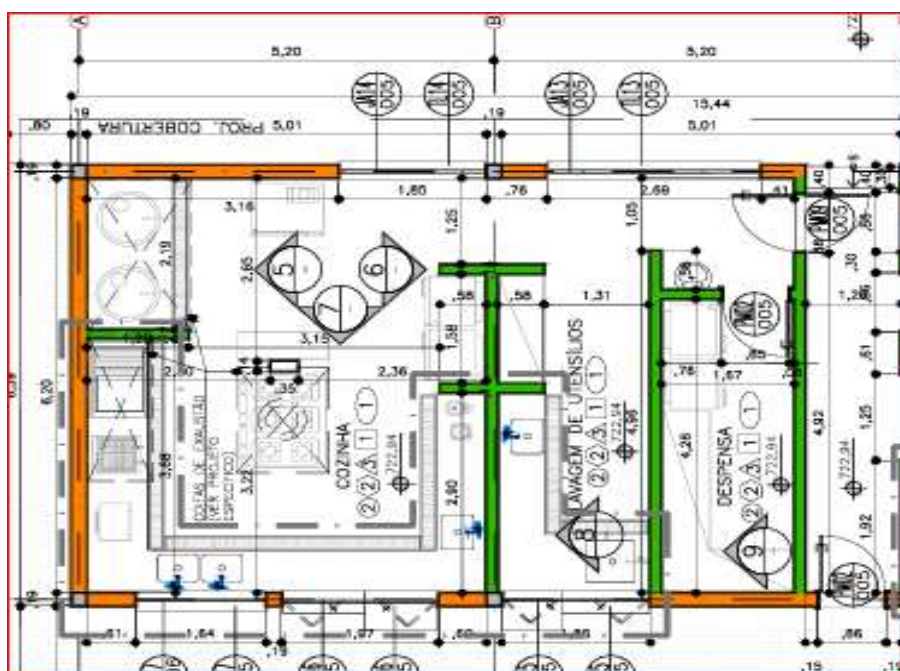


Figura 8 – Projeto planta baixa da cozinha - fonte:própria



Foto 2 - Fachada frontal da cozinha - fonte:própria



Foto 3 - Fachada frontal da cozinha - fonte:própria



Foto 4 - Fachada frontal da cozinha onde fica - fonte:própria

3.3- COLETA DE DADOS PARA ESTUDO DE CASO.

3.3.1. PROPOSTA INICIAL DO SISTEMA

A elaboração deste Trabalho de Conclusão de Curso teve como objetivo principal o desenvolvimento de um sistema de aquecimento de água utilizando energia solar térmica para abastecer uma torneira instalada na área de preparo de alimentos da unidade escolar. A proposta, desde o início, buscou integrar conceitos de sustentabilidade, eficiência energética e aplicação prática dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso técnico.

A utilização de sistemas de aquecimento solar de água é uma alternativa sustentável e eficiente para reduzir o consumo de energia elétrica em instalações residenciais e institucionais. No caso da Etec, a implantação de um sistema composto por coletor solar e reservatório térmico (boiler) permitirá o aquecimento da água que abastece uma

torneira específica, contribuindo para a redução de custos operacionais e para a promoção do uso de energias renováveis dentro do ambiente escolar.

- **Economia e viabilidade do sistema**

A energia solar térmica apresenta um dos melhores índices de retorno financeiro quando comparada a outros sistemas de aquecimento. Estudos técnicos indicam que a adoção desse tipo de sistema pode reduzir em até 40% o valor mensal da conta de energia. Isso ocorre porque o aquecimento da água uma das etapas que mais consome eletricidade passa a ser realizado majoritariamente pela radiação solar.

Considerando o custo de instalação e o valor economizado mensalmente, o investimento tende a se pagar em aproximadamente dois anos, tornando-se financeiramente vantajoso tanto a curto quanto a longo prazo.

Além disso, por depender da radiação solar, o sistema sofre menos impacto em situações de reajustes tarifários de energia elétrica, protegendo o orçamento da instituição escolar.

- **Funcionamento e disponibilidade da água quente**

O reservatório térmico desempenha papel fundamental no sistema, pois é responsável por armazenar e manter a água aquecida ao longo do dia e da noite. Graças ao isolamento térmico presente no equipamento, é possível utilizar água quente mesmo em dias nublados ou chuvosos.

Em condições de baixa incidência solar prolongada, existe a possibilidade de utilizar um sistema complementar elétrico, caso esteja instalado, garantindo que a água alcance a temperatura adequada para o uso. Essa redundância assegura um fornecimento contínuo e eficiente, mesmo em períodos climáticos desfavoráveis.

O tempo de disponibilidade da água quente depende diretamente da quantidade consumida. Se o volume aquecido não for totalmente utilizado, o reservatório mantém a temperatura dentro de limites adequados, podendo ocorrer apenas pequenas perdas térmicas vinculadas às variações de temperatura ambiente.

- **Considerações climáticas da região escolar**

A cidade de São Paulo, onde está localizada a unidade escolar, apresenta grande variabilidade climática ao longo do ano, podendo registrar temperaturas baixas, especialmente durante o inverno. Em regiões onde as mínimas podem se aproximar de 0 °C, podem ocorrer episódios de geada, o que exige cuidados específicos no dimensionamento e na instalação do sistema de aquecimento solar.

Para garantir a durabilidade e eficiência do sistema em climas frios, recomenda-se:

- Utilização de coletores solares com tubulação interna resistente a baixas temperaturas, como materiais metálicos de alta durabilidade.
- Instalação de dispositivos de proteção térmica, como válvulas atenuantes de congelamento, que evitam que a água estagne e congele dentro do coletor.
- Dimensionamento adequado do sistema levando em conta as condições climáticas locais, assegurando o máximo aproveitamento da radiação solar disponível.

Com essas medidas, é possível garantir o funcionamento contínuo do sistema, prevenindo danos causados pelo frio e assegurando que a água utilizada pela torneira da Etec esteja sempre em condições ideais de uso.

- **Impacto geral para o projeto**

A adoção do aquecimento solar para abastecimento de uma torneira na Etec representa não apenas economia financeira, mas também um exemplo prático de aplicação de energia renovável, reforçando o compromisso da instituição com

práticas sustentáveis. Além disso, contribui para a formação técnica dos alunos, que podem acompanhar o funcionamento do sistema, entendendo seus componentes, sua lógica de operação e seus benefícios ambientais.

Em um primeiro momento, o projeto previa a utilização de um boiler já existente na ETEC, localizado no setor de manutenção da escola. Esse reservatório térmico seria incorporado ao sistema com adaptações mínimas, o que contribuiria para a redução de custos e para o reaproveitamento de materiais disponíveis que foi doado por aluno em um momento anterior. Para complementar a instalação, os alunos precisariam adquirir ou obter por doação itens essenciais, tais como: tubulações em PVC e CPVC, cabos elétricos, disjuntores, registros, conexões diversas, além da placa solar fototérmica e da estrutura metálica para fixá-la de forma segura e correta.

Contudo, ainda nessa fase inicial, percebeu-se que uma análise técnica mais aprofundada era necessária para garantir que todos os componentes atendessem às normas e pudessem operar com segurança e desempenho adequado.

3.3.2. COLETA DE DADOS E ESTUDO DOS COMPONENTES DO SISTEMA

O primeiro passo do estudo foi a avaliação técnica do boiler disponível na unidade escolar. Após inspeção e levantamento de informações, constatou-se que o equipamento possuía capacidade de 200 litros, além de dimensões e peso superiores ao ideal para o projeto proposto. Pelos cálculos realizados pelos alunos, baseados no consumo de água previsto para a pia de uso diário, determinou-se que um boiler de 50 litros seria suficiente para atender à demanda com folga.

Além disso, devido ao seu peso e estrutura robusta, o boiler de 200 litros não poderia ser instalado no telhado da escola, como previsto inicialmente. Sua colocação em altura geraria riscos estruturais e demandaria reforços físicos que

inviabilizariam seu uso no projeto. Esses aspectos foram determinantes para a necessidade de reavaliar o equipamento disponível e buscar alternativas adequadas.

Diante da incompatibilidade do reservatório existente, iniciou-se uma nova fase de coleta de dados considerando:

- custo de um boiler de menor capacidade, adequado à demanda;
- características técnicas de diferentes modelos disponíveis no mercado;
- custo e disponibilidade de placas solares fototérmicas;
- necessidade de tubulações, conexões, suportes e materiais complementares;
- integração entre coletor solar, caixa-d'água e ponto de consumo na pia.

Paralelamente, foi realizado um estudo de posicionamento solar, essencial para o funcionamento eficiente de sistemas termo solares. Esse estudo determinou que a placa coletora deveria ser instalada orientada para o norte geográfico, direção que recebe maior incidência solar ao longo do dia, e com inclinação compatível com a latitude local. Também foi analisado o posicionamento do boiler: para funcionamento por termossifão, o reservatório térmico deve estar acima do nível da placa solar, garantindo que a circulação de água aconteça naturalmente sem necessidade de bomba hidráulica.

- **Posicionamento solar**

Para posicionar corretamente o seu Aquecedor Solar Compacto, precisa-se determinar onde há maior incidência de radiação solar durante todo o ano, garantindo assim um bom funcionamento, principalmente no inverno. Como o Brasil possui praticamente todo o território no hemisfério sul, o Sol estará, na maioria do ano, sempre no Norte, daí a necessidade da instalação do seu Aquecedor Solar Compacto no plano (água) do telhado orientado para o Norte Geográfico ou com o menor desvio possível. Desvios de até 45° tanto para o Leste quanto para Oeste são aceitáveis

Para verificar corretamente a orientação do Norte Geográfico, utilize uma bússola, que por sua vez, indicará a orientação do Norte magnético. Uma alternativa é consultar uma planta ou mapa onde existe a identificação do Norte Geográfico e alguma referência de posicionamento da sua rua ou divisas do seu lote. Verifique ainda se o coletor solar está livre de sombras o ano inteiro. Portanto, fique atento com árvores, muros, edificações vizinhas, antenas parabólicas, caixas d'água ou qualquer outro obstáculo que possa sombrear o coletor solar.

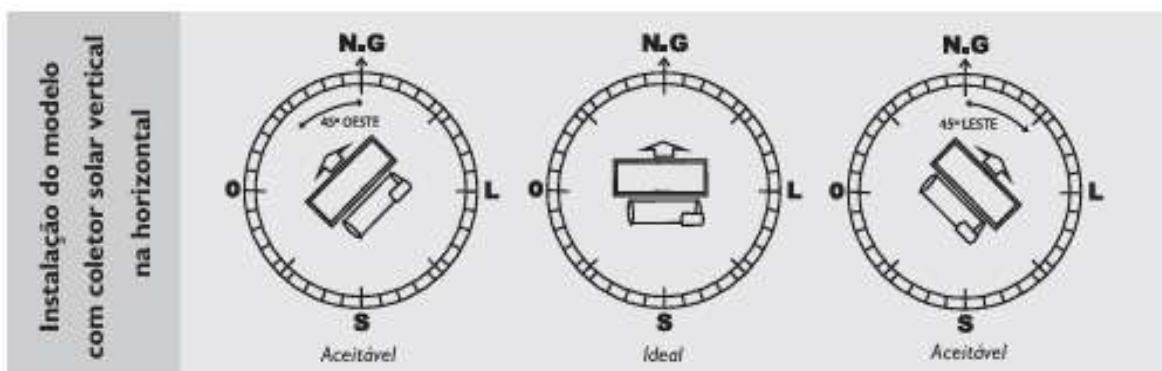


Figura 9 – Instalação do modelo de coletor solar

Para garantir o correto posicionamento do Aquecedor Solar Compacto, é essencial identificar o ponto do telhado que recebe maior incidência de radiação solar ao longo do ano, assegurando seu melhor desempenho, especialmente durante o inverno. Como o Brasil está localizado majoritariamente no hemisfério sul, o Sol se posiciona, na maior parte do ano, ao Norte. Por isso, recomenda-se instalar o coletor solar voltado para o Norte geográfico, ou com o menor desvio possível em relação a essa direção. Desvios de até 45° para Leste ou Oeste ainda são considerados aceitáveis.

No endereço da Etec Prof. Horácio Augusto da Silveira (R. Alcântara, 113 – Vila Guilherme, São Paulo – SP), a análise de orientação solar confirma que o Norte geográfico se encontra voltado para a face frontal do prédio no sentido contrário ao da Av. Conceição, o que facilita o posicionamento adequado do coletor. Assim, a instalação deve ser feita no pano do telhado com face predominantemente voltada para o Norte, garantindo melhor captação de energia. Para verificar a orientação com precisão, pode-se utilizar:

- Uma bússola, lembrando que ela aponta o Norte magnético, que pode apresentar pequena diferença em relação ao Norte geográfico.
- Plantas, mapas ou registros do lote, que normalmente indicam o Norte geográfico e ajudam a comparar a posição da rua e das divisas do terreno.

Além disso, é fundamental assegurar que o coletor solar permaneça livre de sombras durante todo o ano. Portanto, deve-se observar a presença de obstáculos como árvores, muros, edificações vizinhas, antenas parabólicas, caixas d'água ou quaisquer elementos que possam reduzir a incidência direta de luz solar no sistema.

	Janeiro	Fevereiro	março	abril	maio	junho	Julho	Agosto	Setembro	outubro	Novem- bro	Dezem- bro
Temperatura média °C	22.3	22.5	21.6	20.2	17.5	16.7	16.2	17.2	18.6	19.8	20.1	21.6
Temp. mín. °C	19.3	19.4	18.7	17.1	14.3	13.1	12.3	12.9	14.6	16.2	16.9	18.4
Temperatura máx. °C	26.3	26.8	25.8	24.6	22	21.7	21.5	22.9	24.1	24.8	24.5	25.8
Precipitação / Chuva mm	228	167	150	69	64	46	56	40	92	117	152	175
Umidade(%)	83%	83%	84%	82%	80%	78%	76%	74%	76%	80%	83%	83%
Dias chuvosos (d)	17	14	15	8	6	4	4	4	8	11	13	15
Média de horas de sol (horas)	7.7	8.0	7.0	6.5	6.1	6.6	6.9	7.3	7.0	6.7	6.5	7.1

Data: 1991 - 2021 Temp. mín. °C, Temperatura máx. °C, Precipitação / Chuva mm, Umidade, Dias chuvosos. Data: 1999 - 2019: Média de horas de sol

Figura 10 – Tabela das temperaturas do ano - fonte: Climate data

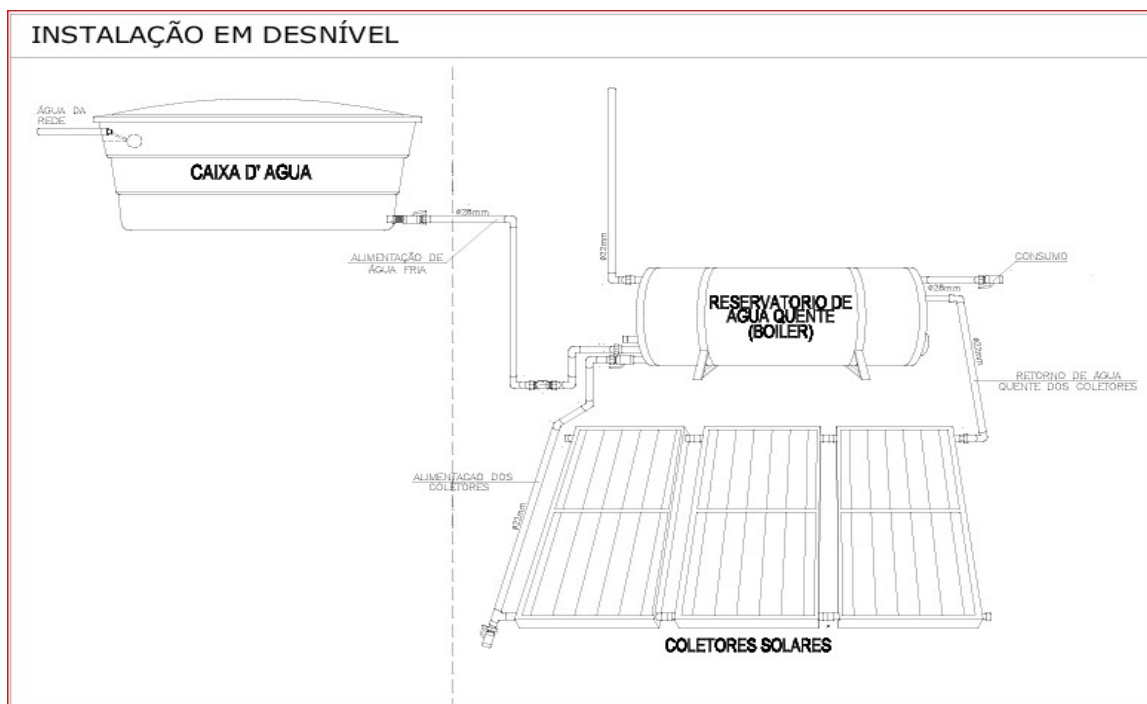


Imagem 11 - Esquema de instalação de desnível - Fonte Soletrol

Por fim, foram realizados todos os dimensionamentos hidráulicos e elétricos, incluindo cálculos de diâmetros de tubulação, estimativa de perdas de carga, análise de queda de tensão para alimentação da resistência elétrica de apoio e definição dos materiais necessários para montagem do sistema.

3.3.3. OBSTÁCULOS E LIMITAÇÕES ENCONTRADAS

Após a finalização do levantamento de dados e dos dimensionamentos técnicos, chegou-se ao cálculo do custo total do projeto, incluindo placa solar, materiais elétricos e hidráulicos, estrutura metálica, registros e acessórios. O valor obtido ultrapassou significativamente as possibilidades financeiras dos alunos, o que impediu a execução prática do sistema na escala original.

Com o intuito de viabilizar o projeto, a equipe buscou apoio externo, realizando pedidos de doação para empresas e fornecedores especializados. No entanto, as respostas obtidas não foram positivas, uma vez que as instituições

consultadas ofereciam somente opções de compra, não havendo disponibilidade para doações ou empréstimos dos equipamentos necessários.

Esse cenário limitou a execução prática do sistema completo, tornando impossível a instalação física da placa solar, do boiler adequado e de toda a rede hidráulica no ambiente da escola dentro do prazo e condições estabelecidas para o TCC.

3.3.4. ALTERAÇÕES NO PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Diante das limitações financeiras, o tempo escasso e logísticas enfrentadas, tornou-se necessário replanejar o projeto. Em vez de desistir da proposta, buscou-se uma alternativa que permitisse manter o caráter didático, técnico e inovador do trabalho: a construção de um protótipo funcional do sistema.

Para isso, os alunos optaram por reaproveitar um tambor metálico de compressor, convertendo-o em um mini boiler experimental capaz de reproduzir o funcionamento básico do sistema de aquecimento solar. O tambor foi preparado com:

- instalação de conexões apropriadas;
- vedação hidráulica;
- aplicação de isolamento térmico;
- adaptação de entrada de água fria e retorno de água quente;
- simulação da entrada da resistência elétrica auxiliar.

Esse desvio de rota não prejudicou o estudo, mas sim ampliou as possibilidades de aprendizado, permitindo que o grupo compreendesse de maneira prática os princípios de um sistema termo solar, como:

- circulação por termossifão;
- comportamento da água fria e quente na tubulação;
- necessidade de desnível hidráulico;
- importância do isolamento térmico;

- interação entre coletor, caixa-d'água e boiler.

O protótipo desenvolvido funciona como uma versão reduzida do sistema original, com a vantagem de exigir menos recursos, facilitar a experimentação e, ainda assim, preservar todos os fundamentos técnicos.

3.3.5. PREPARAÇÃO PARA CONTINUIDADE DO PROJETO EM TURMAS FUTURAS

Embora não tenha sido possível instalar o sistema termo solar real na unidade escolar, o estudo realizado deixa uma base completa para que futuros grupos do curso possam dar continuidade ao projeto. Todas as etapas de:

- levantamento de dados,
- dimensionamentos hidráulicos e elétricos,
- análise de posicionamento solar,
- estimativas de custo,
- definição de materiais,
- e estudo de viabilidade técnica, foram documentadas de forma organizada.

Dessa forma, o presente TCC cumpre um papel fundamental: prepara o terreno para a execução prática do sistema no futuro, permitindo que próximos alunos iniciem o projeto já com um estudo consolidado, evitando retrabalhos e reduzindo o tempo de planejamento.

Com essa base técnica e didática, espera-se que as próximas turmas consigam implementar a instalação da torneira aquecida por sistema termo solar de forma completa, segura e eficiente, utilizando os conhecimentos deixados por este grupo como ponto de partida.

3.3.6 - LEVANTAMENTO DO CONSUMO DIÁRIO DE ÁGUA

Para subsidiar o estudo de viabilidade da implantação de um sistema de aquecimento de água, foi realizada uma pesquisa de campo voltada à

quantificação do volume de água utilizado diariamente na lavagem das louças provenientes das refeições dos alunos. Esse levantamento é essencial para dimensionar corretamente a capacidade do reservatório e dos equipamentos necessários.

A coleta de dados foi realizada por meio da instalação de um hidrômetro na estação de lavagem. Esse dispositivo foi posicionado de modo a registrar exclusivamente o volume de água destinado ao processo de higienização das louças. O hidrômetro permaneceu instalado durante seis dias consecutivos, permitindo a medição contínua do consumo diário.

No início do período de monitoramento, o hidrômetro marcava **000000 m³**, e ao final da semana de observação registrou **000345 m³**. Assim, o volume total consumido no intervalo de seis dias foi de **0,345 m³**. A partir desse valor, foi possível calcular a média diária de consumo:

$$\text{Consumo Diário Médio} = \frac{0,345 \text{ m}^3}{6 \text{ dias}} \approx 0,0575 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

Em outras palavras, a lavagem das louças utiliza aproximadamente **0,058 m³ de água por dia**, equivalentes a **58 litros/dia**.

Esse dado é fundamental para o dimensionamento do sistema, pois permite estimar a capacidade necessária do reservatório, bem como avaliar a viabilidade da aplicação de tecnologias complementares, como o uso de aquecimento solar ou de dispositivos elétricos para suprir a demanda de água aquecida na unidade escolar. Além disso, o cálculo do consumo real possibilita projetar um sistema eficiente, evitando superdimensionamento, desperdícios ou insuficiência de abastecimento.

A realização da coleta e análise do consumo de água na lavagem das louças se justifica pela necessidade de embasar tecnicamente o dimensionamento do sistema de aquecimento a ser proposto para a unidade escolar. Em projetos dessa natureza, decisões tomadas sem dados reais de uso podem resultar em equipamentos inadequados, gastos desnecessários e baixa eficiência operacional.

O volume diário de água utilizado aproximadamente 0,058 m³/dia (58 litros) fornece um parâmetro concreto para definir a capacidade ideal do reservatório, a potência do sistema de aquecimento e o tipo de tecnologia mais adequada (solar, elétrica ou híbrida). Sem esse levantamento, qualquer escolha seria baseada em estimativas genéricas, podendo comprometer o desempenho final do sistema.

Além disso, a justificativa técnica considera três fatores fundamentais:

1. **Eficiência energética:** ao conhecer o consumo real, é possível evitar o superdimensionamento, reduzindo o desperdício de energia e garantindo que o sistema trabalhe dentro de sua faixa ideal de operação.
2. **Segurança e confiabilidade:** sistemas de aquecimento subdimensionados podem não entregar água na temperatura necessária, o que prejudica os processos de higienização e aumenta riscos sanitários. Por outro lado, sistemas superdimensionados aumentam o custo inicial e o consumo energético.
3. **Viabilidade econômica:** o levantamento do consumo permite estimar custos de instalação e operação, além de comparar alternativas tecnológicas. Isso torna o projeto financeiramente mais realista, especialmente considerando que, no momento, o grupo não dispõe de recursos para a execução física e está desenvolvendo um estudo teórico com possibilidade de aplicação futura.

Dessa forma, a coleta de dados realizada não apenas sustenta o cálculo do reservatório e a definição dos equipamentos, como também fortalece a credibilidade técnica do trabalho. O uso de instrumentos adequados, como hidrômetros calibrados e instalados exclusivamente para registrar o consumo das atividades avaliadas, garante a precisão das informações e amplia a confiabilidade dos resultados apresentados.



Foto 5 - Estação de lavagem parte total
fonte: própria



Foto 6 - Estação de lavagem parte inferior - fonte: própria



Foto 7 - Hidrômetro instalado na Estação de lavagem - fonte: própria

3.3.7 ORÇAMENTO PARA DESENVOLVIMENTO DO PROJETO EXECUTIVO

Total simulado para o materiais (sem mão de obra, sem frete): R\$ 8.346,64

Total materiais (sem mão de obra, sem frete): R\$ 8.346,64

Item	Qtde	Preço unit. (R\$)	Total (R\$)
Boiler 50 L (reservatório)	1	R\$2.759,00	R\$2.759,00
Placa solar fototérmica 1,20 x 1,00	1	900,00 (estimado)	R\$900,00
Disjuntor bipolar 32 A (Pial)	1	R\$35,00	R\$35,00
Tubulação PVC soldável 75 mm (Tigre) — por m	20	72,78 (base: tubo 6 m = R\$436,70)	R\$1.455,60
Tubulação PPR 75 mm (Amanco) — por m	20	91,74 (base: tubo 3 m = R\$275,21)	R\$1.834,73
Misturador Docol (torneira cozinha)	1	R\$727,47	R\$727,47
Rodízio (unidade)	4	R\$54,00	R\$216,00
Registro de gaveta 1" (Docol)	2	R\$69,00	R\$138,00
Cabo elétrico 4 mm ² — por m	28	R\$3,40	R\$95,20
Adaptador PVC 2,5" → 1"	1	R\$25,00	R\$25,00
Tê (redução) 75 mm → 32 mm (soldável)	2	R\$17,02	R\$34,04
Curva 90° PVC 75 mm (Tigre)	2	R\$50,00	R\$100,00
Curva 90° PPR 75 mm (Amanco)	2	R\$13,30	R\$26,60

Total estimado (materiais)

R\$8.346,64

1 boiler de 50l

1 placa solar fototérmica 1,20 x 1,00

1 32 A djuntores bipolar pial

20m Tubulação de pvc de 75mm soldável necessário para derivação e percurso da alimentação de água fria Tigre

**20m tubulação ppr de 75mm para rede de consumo de água quente
amanco Isolamento térmico das tubulações**

1 misturador docol

4 rodízio R\$ 54,00

2 registro de gaveta 1" docol

28m Cabo de 4mm

1T PVC2,5" para 1"

2T 75mm para 32mm

2 Curva 90° pvc 75mm tigre

2 Curva 90° ppr 75mm amanco

Após a instalação do sistema, é fundamental realizar manutenções preventivas e periódicas, seguindo rigorosamente as orientações do fabricante. Esse cuidado garante o bom funcionamento do equipamento, evita falhas futuras e prolonga sua vida útil.

MANUTENÇÃO

Lavagem dos vidros

Os vidros do coletor solar devem ser lavados com água, vassoura de pelo macio e sabão neutro sempre que se observar que os mesmos estejam com muita poeira ou fuligem. Esse procedimento, preferencialmente, deve ser realizado no início da manhã para evitar que os vidros quebrem por choque térmico.

Drenagem

É conveniente, a cada 6 meses, efetuar uma drenagem da água do aquecedor solar para eliminar possíveis impurezas que possam acumular na parte inferior do reservatório térmico e do coletor solar.

Solte as abraçadeiras inferiores do sistema, deixe escoar por cerca de 5 minutos ou até a água sair bem limpa. Após a operação, reconecte as mangueiras.



Certifique-se que a temperatura da água esteja em níveis de segurança para evitar acidentes e também danos às telhas, calhas e demais objetos na trajetória da água quente drenada.

Vidros quebrados

Em caso de quebra de algum vidro do coletor solar, é necessária sua substituição imediata, sendo que este serviço de troca pode ser feito por profissional capacitado para a troca de vidros.



Cuidado ao manusear e transportar os vidros quebrados. Acondicione adequadamente e deposite em locais apropriados para reciclagem.

Troca da boia

Caso seja necessário substituir ou regular a boia do reservatório de água fria, retire a tampa superior do reservatório de água fria e faça o ajuste necessário ou sua substituição por outra de mesma característica. Ela é facilmente encontrada em estabelecimentos especializados em materiais hidráulicos. A boia para a caixa d'água fria é de 1/2" (meia polegada) para alta pressão e alta vazão e indicamos levar a boia em mãos até à loja para comprar um modelo igual ou semelhante.

Importante: antes de trocar a boia, verifique se não existe algum tipo de impureza vindo da rede pública ou do encanamento que possa estar bloqueando a passagem da água ou dificultando o correto fechamento da boia.



Pressão elevada da rede pública: caso a pressão do local ultrapasse 40 m.c.a. (metros de coluna de água) conforme determina a norma ABNT 5626:1998 utilize antes da boia uma válvula redutora de pressão.

Imagem 12 – Manutenção do sistema boia e placa solar - fonte: própria

3.3.8 - LOCAL NA ÁREA EXTERNA ONDE SERÃO INSTALADOS OS EQUIPAMENTOS, COMO O RESERVATÓRIO E OS BOILERS.

O local definido para a instalação dos equipamentos do sistema de aquecimento solar, como o reservatório de água quente (boiler) e os coletores solares, foi a área externa da edificação. Essa escolha se baseia na necessidade de garantir segurança, ventilação adequada, facilidade de manutenção e exposição direta à radiação solar.

Caso o projeto tivesse obtido a doação de um boiler menor e de uma placa solar, a instalação poderia ter sido feita diretamente sobre o telhado da cozinha. A proposta inicial previa a fixação do conjunto em uma base de aço estruturada e orientada para o norte geográfico, posição que proporciona maior incidência solar no hemisfério sul e, portanto, maior eficiência na captação de energia térmica.

No entanto, alguns fatores técnicos trouxeram preocupações importantes. O acesso ao telhado é limitado, o que dificultaria tanto a instalação quanto futuras manutenções. Além disso, a cobertura é composta por telhas sanduíche de metal e isopor, um tipo de material leve e isolante, que não é projetado para suportar cargas elevadas. Isso gerou dúvidas quanto à capacidade estrutural do telhado de receber o peso combinado do boiler cheio e da placa solar, além dos esforços adicionais causados por vento e vibrações.

Diante desses riscos, estudou-se uma alternativa mais segura: a construção de uma estrutura metálica independente, chumbada diretamente na alvenaria lateral. Essa solução permitiria instalar os equipamentos fora do telhado, evitando danos às telhas e garantindo maior estabilidade. Além disso, a estrutura poderia ser projetada com a inclinação adequada e orientada para o norte, mantendo o aproveitamento máximo da incidência solar sem comprometer a integridade do edifício.

Essa avaliação estrutural e o estudo de possibilidades reforçam a importância de considerar não apenas a viabilidade energética, mas também a segurança e a durabilidade do sistema de aquecimento solar.

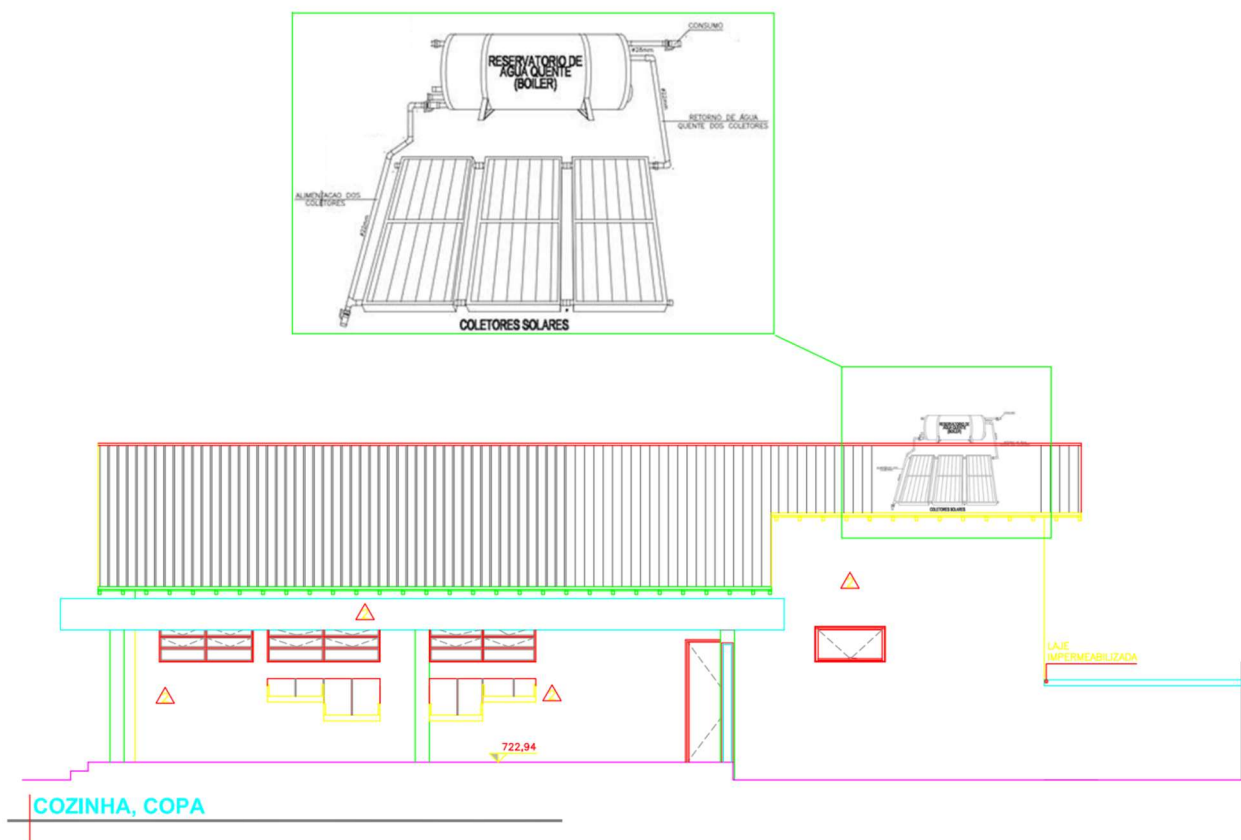


Imagem 13 – Croqui de instalação do boiler e placa – fonte: própria

4 – DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Este capítulo descreve de forma didática o sistema desenvolvido em protótipo pelos alunos, demonstrando passo a passo seu funcionamento, seus componentes principais e sua aplicação para o abastecimento de uma torneira com água quente. O objetivo é apresentar uma visão clara do processo de instalação, circulação e armazenamento da água aquecida por energia solar.

4.1 - COMPONENTES DO SISTEMA

O protótipo construído é composto pelos seguintes elementos:

4.1.1 CAIXA-D'ÁGUA

A caixa-d'água é o componente responsável por armazenar a água fria que abastece todo o sistema de aquecimento. É a partir dela que se inicia o fluxo de água que será conduzido tanto ao boiler quanto ao coletor solar. Para garantir o funcionamento adequado do sistema por termossifão que utiliza a circulação natural da água sem a necessidade de bombas é fundamental que a caixa-d'água esteja instalada acima da placa solar e do boiler.

Essa diferença de altura cria o desnível necessário para que a água fria desça por gravidade até o coletor solar e permita que a água quente, ao subir naturalmente, retorne para o boiler. Caso o reservatório esteja instalado abaixo da placa, o fluxo não ocorrerá de forma correta, prejudicando ou até impossibilitando o aquecimento solar.

Em sistemas residenciais e educacionais, como o protótipo estudado, a caixa-d'água geralmente é fabricada em PVC (policloreto de vinila) ou polietileno de alta densidade (PEAD), materiais resistentes, leves e de fácil manutenção. As caixas de PVC apresentam vantagens importantes, como:

- Alta durabilidade e resistência à corrosão;
- Facilidade de instalação devido ao peso reduzido;
- Boa vedação, evitando contaminação externa;

- Compatibilidade com conexões hidráulicas padrão;
- Custo acessível, facilitando a reprodução do sistema em unidades escolares ou residenciais.

Além disso, recomenda-se que a caixa-d'água seja instalada sobre uma base rígida e nivelada, capaz de suportar seu peso total quando cheia, garantindo segurança e estabilidade para todo o sistema.

Assim, a caixa-d'água, mesmo sendo um elemento aparentemente simples, desempenha um papel essencial na operação do sistema de aquecimento solar, proporcionando a pressão, o fluxo contínuo e a alimentação hídrica necessária para o correto funcionamento do boiler e da placa solar. Caso deseje, posso reescrever na norma culta, expandir ainda mais ou conectar com outros capítulos do TCC.

4.1.2 BOILER (RESERVATÓRIO TÉRMICO)

O boiler é o equipamento responsável por armazenar e conservar a água aquecida, garantindo que ela esteja sempre disponível para uso no ponto de consumo. Esses reservatórios térmicos podem ser fabricados em diversos materiais, como aço inoxidável (inox), cobre e polipropileno, cada um com características específicas relacionadas à durabilidade, resistência térmica, custo e facilidade de manutenção. Cada material apresenta vantagens e limitações, que devem ser analisadas de acordo com a aplicação, o orçamento disponível e as condições ambientais do local de instalação.

No protótipo desenvolvido pelos alunos, o boiler foi construído de forma sustentável, por meio do reaproveitamento de um tambor metálico de compressor, que foi adaptado para funcionar como reservatório térmico. Esse processo envolveu a preparação adequada do tambor, a instalação de conexões compatíveis e a implementação de isolamento térmico, assegurando o desempenho necessário para o sistema de aquecimento solar. Essa prática evidencia a importância da criatividade aliada à sustentabilidade no desenvolvimento de soluções técnicas acessíveis e eficientes.

Essa prática de reutilização, além de reduzir custos, demonstra a viabilidade técnica de transformar materiais já existentes em componentes funcionais de um sistema de energia renovável, contribuindo para a sustentabilidade e para o aprendizado prático dos estudantes.

O boiler adaptado possui as seguintes funções e elementos:

- **Entrada de água fria:**

Localizada na parte inferior do reservatório, recebe a água proveniente da caixa-d'água. Essa água é encaminhada para ser aquecida dentro do sistema.

- **Entrada de água quente:**

Conectada à parte superior do reservatório, essa entrada recebe a água aquecida na placa solar. Como a água quente tende naturalmente a subir, o retorno ao boiler ocorre por circulação natural (termossifão), sem necessidade de bombas.

- **Resistência elétrica interna:**

Instalada como recurso auxiliar, a resistência é acionada quando há baixa incidência solar, garantindo que o sistema continue fornecendo água quente mesmo em dias nublados ou chuvosos. Essa redundância assegura o abastecimento contínuo e evita oscilações de temperatura.

O tambor metálico de compressor foi preparado para exercer a função de boiler, passando por processos como vedação adequada, instalação de conexões hidráulicas compatíveis e isolamento térmico externo. Esse isolamento é fundamental para evitar a perda de calor e manter a água quente por mais tempo dentro do reservatório.

Assim, o boiler desempenha um papel central no sistema de aquecimento solar, atuando como o “coração térmico” do conjunto. Ele recebe a água aquecida pelo coletor solar, conserva sua temperatura e a distribui sempre que o usuário

aciona a torneira, garantindo conforto, eficiência energética e utilização prática de energia renovável.

4.1.3 PLACA OU COLETOR SOLAR

A estrutura desenvolvida tem como objetivo representar, de forma didática, o funcionamento de um coletor solar térmico. Em um sistema real, o coletor é o equipamento responsável por captar a radiação solar e convertê-la em energia térmica, aquecendo a água que circula em seu interior até que ela retorne ao boiler.

No protótipo elaborado, essa função foi simbolizada por meio de uma estrutura metálica, sobre a qual foi instalada uma simulação de serpentina utilizando tubos de PVC de $\frac{3}{4}$ ". O conjunto recebeu um revestimento em forro de PVC branco, usado como base para garantir rigidez e nivelamento da superfície. Em seguida, toda a estrutura foi pintada com tinta esmalte na cor preta, representando a absorção solar, característica essencial dos coletores reais, que utilizam superfícies escuras para maximizar o aquecimento.

Para finalizar, foi posicionada uma placa de vidro na parte superior, simulando a cobertura transparente típica dos coletores solares. Em sistemas reais, essa cobertura ajuda a criar um efeito estufa interno, retendo o calor e aumentando a eficiência térmica.

Dessa forma, o material construído reproduz de maneira fiel e educativa os principais elementos de um coletor solar, permitindo visualizar seu funcionamento mesmo sem o uso de equipamentos autênticos.



Foto 8 - construção do protótipo pintura vista frontal - fonte: própria

4.1.4 TUBULAÇÕES E ACESSÓRIOS

O sistema possui tubulações de água fria e quente, registros, conexões e dispositivos específicos, como:

- Desnível ou separação hidráulica, para impedir que a água quente retorne para a tubulação de água fria;
- Válvula de alívio de ar (golpe de ar), que permite a saída do ar comprimido, mantendo a pressão adequada no sistema;
- Marcação das tubulações, para identificação visual de água fria, água quente e retorno.

4.1.5 - FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

O processo operacional do sistema ocorre conforme a dinâmica abaixo:

1. Saída da água fria da caixa-d'água:

A água desce pela tubulação e entra no boiler pela parte inferior.

2. Entrada da água fria no coletor solar:

Parte da água fria é conduzida ao coletor, onde será aquecida pela radiação solar.

3. Aquecimento da água no coletor:

A energia solar aquece a água contida na placa. Com a elevação da temperatura, a água quente tende a subir naturalmente fenômeno conhecido como termossifão.

4. Retorno da água quente ao boiler:

A água aquecida retorna ao boiler pela conexão superior, elevando gradualmente a temperatura do reservatório.

5. Distribuição da água quente para o ponto de consumo:

A partir do boiler, a água quente é encaminhada para a torneira da cozinha, garantindo conforto térmico e economia de energia.

6. Controle da pressão e separação do fluxo:

O sistema conta com um mecanismo de desnível e uma válvula de saída de ar para assegurar que:

- a água quente não retorne para o encanamento de água fria;
- o ar acumulado seja liberado, evitando perda de pressão e melhorando o funcionamento.

4.1.6 - APLICAÇÃO DO PROTÓTIPO NO PROJETO

O protótipo desenvolvido pelos alunos demonstra, de forma prática, como um sistema de aquecimento solar pode ser aplicado para abastecer uma torneira com água quente de maneira eficiente. Apesar de experimental, o sistema foi montado com base em princípios reais de hidráulica e energia térmica solar, contemplando:

- circulação natural da água (termossifão);
- armazenamento térmico em boiler;
- identificação de tubulações;
- funcionamento conjunto entre energia solar e resistência elétrica de apoio.

O modelo evidencia a viabilidade de implementar tecnologias renováveis em ambiente escolar ou residencial, reduzindo custos e promovendo sustentabilidade.

O estudo e a construção do protótipo permitiram compreender, de forma prática, os benefícios e a funcionalidade de um sistema de aquecimento solar para uso em pontos específicos, como uma torneira de cozinha. O sistema combina simplicidade, eficiência energética e baixo impacto ambiental, demonstrando potencial para aplicações reais em unidades escolares ou residências.

O experimento reforça a importância de integrar energias renováveis ao cotidiano, incentivando práticas sustentáveis e contribuindo para a formação técnica dos estudantes.



Foto 9 – construção do protótipo - fonte: própria



Foto10 - construção do protótipo pintura vista traseira - fonte: própria

5 - CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso evidenciou a viabilidade técnica e ambiental da implantação de um sistema de aquecimento solar para abastecimento de água quente em ambiente escolar, demonstrando que soluções sustentáveis podem ser aplicadas de forma eficiente, segura e adaptada às necessidades reais da instituição. A partir do estudo detalhado das demandas da cozinha, do levantamento estrutural e do dimensionamento do sistema, constatou-se que o uso de energia elétrica ou gás representa custos elevados, enquanto o aquecimento solar surge como alternativa econômica e ambientalmente responsável.

Embora o projeto não tenha sido executado em escala real devido à ausência de doações e limitações financeiras, a construção do protótipo permitiu compreender, de maneira prática, o funcionamento integrado entre caixa-d'água, boiler, tubulações e coletor solar. A placa solar foi fielmente representada por uma estrutura metálica com tubos de PVC de $\frac{3}{4}$ ", base em forro de PVC, pintura escura para simular absorção térmica e cobertura de vidro, reproduzindo os princípios de captação e retenção de calor presentes em sistemas reais. Essa miniatura tornou-se um recurso pedagógico valioso, possibilitando visualização, estudo e experimentação pelos alunos.

O trabalho também destacou a importância de considerar aspectos estruturais e de segurança, como a impossibilidade de instalar o sistema diretamente sobre o telhado devido à baixa capacidade de carga das telhas sanduíche, o que levou à proposta de uma estrutura metálica independente como alternativa mais segura. Assim, conclui-se que o sistema de aquecimento solar proposto é plenamente aplicável ao ambiente escolar e possui potencial para ser implantado futuramente, caso haja investimento e apoio institucional. Além de promover economia e reduzir impactos ambientais, o projeto reforça o compromisso da escola com inovação, sustentabilidade e formação técnica qualificada.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<https://www.iberdrola.com/quem-somos/nossa-atividade/energia-solar-fotovoltaica/historia-energia-solar>

<https://velpmais.com.br/historia-do-aquecedor-solar-no-brasil-3/>

<https://www.soletrol.com.br/extras/historia-do-aquecedor-solar/>

<https://pt.solar-energia.net/que-e-energia-solar/historia>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410 – Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16274 – Sistemas fotovoltaicos conectados à rede – Requisitos de projeto. Rio de Janeiro, 2014.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R. Atlas Brasileiro de Energia Solar. INPE, 2017.

CRESESB. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014.

SILVA, J. A. Energia Solar no Brasil: Potencial e Aplicações. São Paulo: Érica, 2021. (*Modelo ABNT – você pode ajustar conforme solicitado pela banca*)

BOYCE, A. *History of solar energy*. New York: Green Press, 2019.

BRITO, A.; SILVA, J. *Fundamentos da energia solar*. São Paulo: Atlas, 2006.

ENEL. *Geração On-grid e Off-grid*. São Paulo, 2016.

MACEDO, S. H. et al. *Energia solar térmica: uso de coletores solares para o aquecimento de água residencial*. 2020.

MOGAWER, S.; SOUZA, W. *Aquecimento de água por energia solar*. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

PACHECO, P. *Fontes alternativas de energia*. São Paulo: SENAI, 2006.

PEREIRA, E. et al. *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. INPE, 2017.

RÜTHER, R. *Energia solar no Brasil*. Florianópolis: UFSC, 2004.

SOLETROL. *Manuais técnicos de instalação e operação*. São Paulo, 2023.

REIS, L. *Geração de energia elétrica*. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.