

MARIA EDUARDA LISBOA CAMARGO

**MONITORAMENTO DO DESEMPENHO DE COLETOR SOLAR DE
BAIXO CUSTO: AQUECIMENTO DE ÁGUA RESIDENCIAL EM REGIÕES
REMOTAS**

Rosana

2025

MARIA EDUARDA LISBOA CAMARGO

MONITORAMENTO DO DESEMPENHO DE COLETOR SOLAR DE
BAIXO CUSTO: AQUECIMENTO DE ÁGUA RESIDENCIAL EM REGIÕES
REMOTAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Energia da Faculdade de Engenharia e Ciências - Câmpus de Rosana, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Camargo Cabrera

Rosana

2025

C172m

Camargo, Maria Eduarda Lisboa

Monitoramento do desempenho de coletor solar de baixo custo:
aquecimento de água residencial em regiões remotas / Maria Eduarda
Lisboa Camargo. -- Rosana, 2025

36 p. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de
Energia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de
Engenharia e Ciências, Rosana

Orientador: Flávio Camargo Cabrera

1. Coletor solar. 2. Aquecimento de água. 3. Eficiência térmica. 4.
Sustentabilidade. I. Título.

MARIA EDUARDA LISBOA CAMARGO

MONITORAMENTO DO DESEMPENHO DE COLETOR SOLAR DE
BAIXO CUSTO: AQUECIMENTO DE ÁGUA RESIDENCIAL EM REGIÕES
REMOTAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Energia da Faculdade de Engenharia e Ciências - Câmpus de Rosana, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Energia.

Rosana, 21/10/2025.

Componentes da Banca Examinadora:

Presidente e Orientador: Prof. Dr. *Flávio Camargo Cabrera*, Câmpus de Rosana –
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Membro Titular: Profa. Dra. *Maria Cláudia Costa de Oliveira Botan*, Câmpus de Rosana –
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Membro Titular: Prof. Dr. *Guilherme Pina Cardim*, Câmpus de Rosana – Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Aos meus pais, meus heróis.
Pelas noites em claro, pelos sacrifícios silenciosos
e por sempre acreditarem em mim.

AGRADECIMENTOS

Quero deixar registrados os meus mais profundos agradecimentos às pessoas que me ajudaram a chegar até aqui. Nesta última etapa, não poderia deixar de agradecer a todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa caminhada e contribuíram para que eu alcançasse este sonho.

Agradeço ao professor Flavio Cabrera Camargo, por todo o ensinamento transmitido ao longo da graduação, pela paciência, apoio e pela confiança depositada em mim. Sou imensamente grata por todo o conhecimento compartilhado e por ter me guiado com tanto comprometimento até este momento.

Aos meus pais, que sempre me amaram incondicionalmente, compreenderam minhas escolhas, mesmo quando nem sempre foram as mais certas, e me apoiaram em todos os momentos. Obrigada por todo o amor, pela força e por me guiarem até aqui.

Aos meus tios Henrique e Bruno, que sempre estiveram ao meu lado, acreditando em mim e me incentivando a seguir em frente. Admiro profundamente vocês e não poderia deixar de agradecer por me fazerem acreditar em mim mesma. Essa conquista não é só minha, é nossa.

Às minhas primas Letícia e Amanda, que estiveram comigo em cada etapa dessa graduação. À Le, por toda a paciência ao me ensinar matérias que, sem sua ajuda, talvez eu não tivesse conseguido passar. E à Amandinha, por estar sempre presente nas aulas, nas conversas e até nos momentos de surto. Sou muito grata por ter vocês na minha vida.

À minha amiga mais antiga, Rafaella Nishimura, é difícil colocar em palavras o quanto nossa amizade significa para mim. Obrigada por estar comigo em todas as fases, por dividir risadas, conselhos e desabafos, e por me permitir ser eu mesma em todas as minhas versões.

Aos amigos que conheci na UNESP, Lucas Spis, meu primeiro amigo da faculdade, cuja bondade e leveza admiro profundamente; Beatriz Gonçalves, amiga fiel e parceira com quem dividi lágrimas e risadas; e Júlia Pedrosa, que me ensinou a olhar a vida de outra forma, tornando meus dias mais leves. Sou muito grata por ter vivido tudo isso com vocês.

E, por fim, mas não menos importante, ao Mateus Andrade de Moraes, o irmão que a UNESP me deu. Cada jornada que vivi durante esses anos teve você presente. Não consigo descrever a faculdade sem te incluir. Sou grata por todos os momentos incríveis, pelas conversas, pelas risadas e por dividir comigo tantas conquistas. Ver você crescer e aprender foi um privilégio, compartilhar essa vitória com você torna tudo ainda mais especial. Mais uma etapa concluída juntos.

“O que mais gosto na engenharia é que você pode criar o futuro.”
Ellen Ochoa

RESUMO

A crescente demanda por fontes de energia renováveis e a urgência em mitigar as mudanças climáticas têm impulsionado a pesquisa e a adoção de tecnologias sustentáveis em todo o mundo. Neste contexto, é cada vez mais urgente desenvolver soluções energéticas sustentáveis e acessíveis para regiões precárias, sem acesso a saneamento e eletricidade. No entanto, existe uma lacuna em tecnologias solares economicamente viáveis para populações de baixa renda, uma vez que a maioria dos sistemas disponíveis no mercado tem um custo elevado e não é aplicável em áreas vulneráveis. Neste trabalho, desenvolveu-se um coletor solar utilizando uma caixa térmica, tubos de PVC e garrafas PET para otimizar custos e mensurar a eficiência do sistema. O desempenho térmico do sistema foi avaliado ao longo de sete dias em diferentes estações do ano, utilizando um termômetro digital e um medidor de radiação solar. A água do reservatório atingiu a temperatura máxima de 42,4°C em junho, e manteve uma média de 36,4°C durante a semana de avaliação em julho (mesmo durante o inverno), evidenciando a eficácia do sistema em condições reais de operação mantendo a temperatura do reservatório dentro da faixa ideal para banhos. Desta forma, sugere-se que o coletor de baixo custo é uma alternativa viável para promover o uso de energia solar em áreas remotas ou mesmo apresenta potencial para ser utilizado como fonte de energia secundária (híbrida) ao aquecimento por chuveiro elétrico reduzindo o gasto energético.

Palavras-chave: Coletor solar, aquecimento de água, eficiência térmica, sustentabilidade.

ABSTRACT

The growing demand for renewable energy sources and the urgency to mitigate climate change have driven research and adoption of sustainable technologies worldwide. In this context, it is increasingly urgent to develop sustainable and affordable energy solutions for precarious regions without access to sanitation and electricity. However, there is a gap in economically viable solar technologies for low-income populations, as most commercially available systems are expensive and not applicable in vulnerable areas. In this work, a solar collector was developed using a thermal box, PVC pipes, and PET bottles to optimize costs and measure the system's efficiency. The system's thermal performance was evaluated over seven days in different seasons using a digital thermometer and a solar radiation meter. The reservoir water reached a maximum temperature of 42,4°C in June and maintained an average of 36,4°C during the evaluation week in July (even during winter), demonstrating the system's effectiveness under real-world operating conditions, maintaining the reservoir temperature within the ideal range for bathing. Thus, it is suggested that the low-cost collector is a viable alternative to promote the use of solar energy in remote areas or even has the potential to be used as a secondary (hybrid) energy source for heating by electric showers, reducing energy consumption.

Keywords: Solar collector, water heating, thermal efficiency, sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Espectro de radiação solar: da radiação ultravioleta à infravermelha	15
Figura 2- Representação esquemática dos fenômenos de reflectância, absorvância e transmitância.....	16
Figura 3- Órbita elíptica da Terra em torno do Sol	17
Figura 4- Radiação global média anual no Brasil (kWh/m ² /ano), com resolução de 40 km × 40 km.	19
Figura 5- Coletor montado com as garrafas PET.	25
Figura 6- Comparativo das temperaturas do reservatório no período noturno ao longo dos meses de análise.....	31
Figura 7- Comparativo entre a diferença entre as temperaturas registradas na rede de abastecimento de água e a temperatura da água do reservatório ao longo do ano de medição.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Materiais e custos para desenvolvimento do coletor solar	24
Tabela 2- Medição da eficiência do coletor solar, hora a hora, iniciando às 9:00h da manhã, após preenchimento com água (abril) com reservatório sem cobertura.	26
Tabela 3- Medição da eficiência do coletor solar no mês de maio ao longo do dia (7:30 h, 15:00 h e 19:00 h) com reservatório fechado com estrutura em tijolos e cobertura de telhas de fibrocimento.	27
Tabela 4- Medição da eficiência do coletor solar no mês de junho ao longo do dia (7:30 h, 15:00 h e 19:00 h) com recobrimento de garrafas.	28
Tabela 5- Medição da eficiência do coletor solar no mês de julho ao longo do dia (7:30 h, 15:00 h e 19:00 h) com recobrimento de garrafas e reservatório fechado (tijolos e telha fibrocimento)	29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Energias Renováveis.....	12
2. OBJETIVO	13
2.1 Objetivos gerais	13
2.2 Objetivos específicos.....	14
3. REVISÃO LITERÁRIA.....	14
3.1 Radiação solar.....	14
3.2 Radiação solar difusa ou direta.....	15
3.3 Comportamento da radiação solar e sua relação com os movimentos da terra	17
3.4 Energia Solar no Brasil.....	18
3.5 Panorama e Desafios da Energia Solar no Brasil e no Mundo	20
3.6 Componentes do sistema de aquecimento solar	21
3.7 Coletor solar de baixo custo	22
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
6. CONCLUSÃO.....	33
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1. INTRODUÇÃO

1.1 Energias Renováveis

As energias renováveis surgem como alternativas indispensáveis para o enfrentamento das mudanças climáticas, cujos efeitos estão diretamente relacionados ao uso excessivo de combustíveis fósseis (Sayed *et al.*, 2023). O aumento expressivo das emissões de gases de efeito estufa nas últimas décadas tem impulsionado a busca por fontes energéticas mais limpas e sustentáveis. Nesse cenário, tecnologias como a energia solar, eólica, de biomassa, hídrica, geotérmica e de hidrogênio vêm sendo desenvolvidas com o propósito de gerar eletricidade de forma eficiente e ambientalmente responsável (Ang *et al.*, 2022).

Em resposta à urgência dessa questão global, o Acordo de Paris, firmado em 2015 durante a 21ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP21), representou um marco internacional no combate às mudanças climáticas (Unfccc, 2015). Adotado por 195 partes, entre elas 194 países e a União Europeia, o acordo estabeleceu metas ambiciosas de mitigação, buscando limitar o aumento da temperatura média global por meio da redução das emissões de gases de efeito estufa, além de estimular práticas sustentáveis e a cooperação entre os países signatários.

Desde então, observa-se um crescimento acelerado no mercado global de energias renováveis, com destaque para a energia solar, que vem assumindo papel estratégico na transição energética mundial. Nos últimos anos, essa fonte passou a ser objeto de intensas pesquisas e aplicações em diferentes contextos, consolidando-se como alternativa viável tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico (Esposito; Fuchs, 2013). O avanço tecnológico, aliado à expansão dos mercados e ao aumento das escalas de produção, tem tornado as soluções baseadas em energia solar cada vez mais acessíveis a diferentes setores da sociedade.

A energia solar, em particular, apresenta vantagens relevantes por ser uma fonte limpa, abundante e inesgotável. Novas tecnologias vêm sendo empregadas para gerar eletricidade a partir da radiação solar coletada (Kabir *et al.*, 2018). Além disso, o vínculo entre a humanidade e a energia do sol é histórico: desde os primórdios, o ser humano buscou formas de aproveitá-la, seja na iluminação, no aquecimento ou em atividades cotidianas (Hémery *et al.*, 1993). Registros arqueológicos demonstram que civilizações antigas utilizavam o sol para secagem de

alimentos e até mesmo para a produção de fogo com lentes de vidro (Kemerich *et al.*, 2016), evidenciando o reconhecimento precoce de seu potencial.

Na atualidade, o aproveitamento da energia solar ocorre principalmente de duas formas: a energia solar térmica, que converte a radiação solar em calor, aplicada em sistemas de aquecimento de água e processos industriais; e a energia solar fotovoltaica, que transforma diretamente a luz do sol em eletricidade por meio de células fotovoltaicas (Saltire Renewables, 2025). Ambas as tecnologias vêm apresentando avanços contínuos em eficiência e aplicabilidade, sendo implementadas em diferentes escalas — desde grandes usinas em áreas rurais até sistemas integrados a edificações no meio urbano — refletindo sua crescente relevância para a diversificação e sustentabilidade da matriz energética (Sánchez-Pantoja; Vidal; Pastor, 2018).

Entretanto, é importante destacar que a matriz energética mundial ainda mantém forte dependência dos combustíveis fósseis. Em países desenvolvidos, por exemplo, o setor residencial consome cerca de 40% da energia total, sendo grande parte proveniente da queima desses combustíveis, responsáveis por impactos ambientais significativos, como a poluição do ar e o agravamento das mudanças climáticas (Ahmadi *et al.*, 2021). Nesse sentido, a ampliação do uso de fontes renováveis, em especial da energia solar, mostra-se fundamental para a construção de um modelo de desenvolvimento sustentável, capaz de atender às demandas energéticas da sociedade contemporânea sem comprometer as futuras gerações.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivos gerais

Avaliar a viabilidade da construção de um coletor solar de baixo custo, desenvolvido a partir de materiais alternativos e reutilizáveis, como tubos de PVC, garrafas PET e caixa térmica, visando oferecer uma solução sustentável e acessível para o aquecimento de água em comunidades de baixa renda ou regiões remotas sem acesso à rede elétrica. O estudo busca analisar o desempenho térmico do sistema em diferentes condições sazonais, verificar sua eficiência na manutenção da água em temperaturas adequadas para banho e discutir seu potencial de aplicação como alternativa ou complemento ao uso de chuveiros elétricos, contribuindo para a redução do consumo de energia e a promoção da equidade no acesso às energias renováveis.

2.2 Objetivos específicos

- Construir um protótipo de coletor solar utilizando materiais de baixo custo e fácil acesso (caixa térmica, tubos de PVC e garrafas PET).
- Realizar medições do desempenho térmico do sistema em diferentes condições sazonais, durante um período de sete dias.
- Comparar o desempenho do coletor em duas etapas: sem cobertura e com a adição de garrafas PET nos tubos e isolamento do reservatório.
- Avaliar a eficiência do sistema em manter a água dentro da faixa de temperatura adequada para banho.
- Analisar a viabilidade do uso do coletor solar como alternativa ou complemento ao chuveiro elétrico, visando reduzir custos energéticos e ampliar o acesso a fontes renováveis em comunidades vulneráveis.

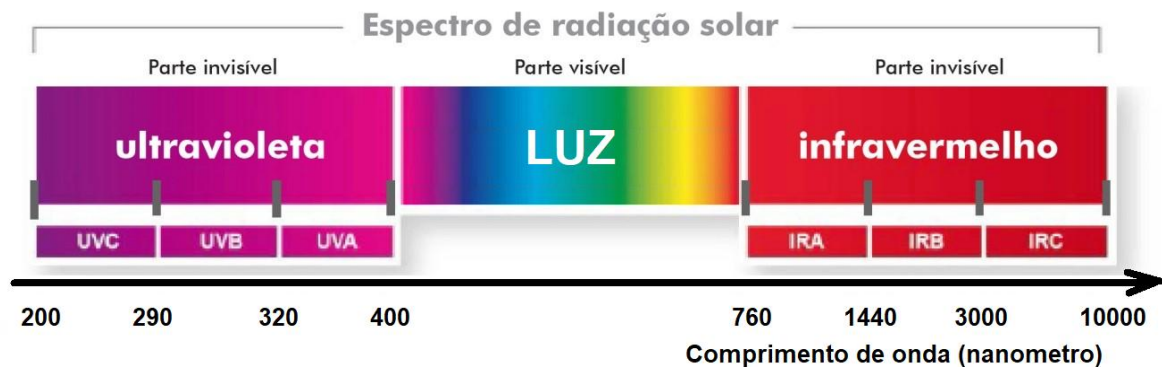
3. REVISÃO LITERÁRIA

3.1 Radiação solar

A radiação solar corresponde ao fluxo de energia liberado pelo Sol e propagado por meio de ondas eletromagnéticas (Gómez *et al.*, 2018). A quantidade de energia que atinge a superfície terrestre em determinado instante recebe o nome de irradiância solar total (TSI – *Total Solar Irradiance*), cuja unidade de medida, no Sistema Internacional (SI), é o watt por metro quadrado (W/m^2). Trata-se de uma grandeza instantânea, sujeita a variações ao longo do tempo, sendo que o valor máximo da irradiância define o ponto de maior intensidade energética disponível para um sistema. (Ramos; Vianna; Marin, 2018).

Além disso, a radiação solar é composta por um amplo espectro de comprimentos de onda, que vai da luz visível até a radiação ultravioleta e infravermelha, como ilustrado na Figura 2. Esse recurso natural desempenha papel essencial para a manutenção da vida na Terra, uma vez que influencia diretamente diversos processos ambientais e ecológicos. Entre eles, destacam-se os ciclos biogeoquímicos, como os do carbono, nitrogênio, fósforo, enxofre e da água, além de processos atmosféricos e climáticos fundamentais para o equilíbrio do ecossistema (Galvão *et al.*, 2024).

Figura 1- Espectro de radiação solar: da radiação ultravioleta à infravermelha



Fonte: CREF – Centro de Referência para o Ensino de Física. Radiação solar: a frequência do branco. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Enquanto a irradiância solar se refere a uma grandeza instantânea, a irradiação solar corresponde à quantidade total de energia recebida por unidade de área, expressa em joules por metro quadrado (J/m^2). Essa grandeza representa a energia acumulada da radiação incidente sobre uma superfície durante um intervalo de tempo seja um dia, um mês ou um ano e constitui um indicador fundamental para avaliar o potencial de aproveitamento energético de uma região (Wald, 2019).

Em termos médios, a irradiação solar incidente na atmosfera terrestre é de aproximadamente $1.367 W/m^2$, valor conhecido como constante solar. No entanto, devido à absorção e dispersão da radiação pelas camadas atmosféricas, apenas cerca de $1 kW/m^2$ atinge efetivamente a superfície do planeta. Apesar dessa atenuação, estima-se que a energia solar que incide sobre a Terra seja cerca de dez mil vezes superior ao consumo energético mundial, evidenciando o enorme potencial dessa fonte renovável para suprir a crescente demanda global de energia (Almeida, 2018).

3.2 Radiação solar difusa ou direta

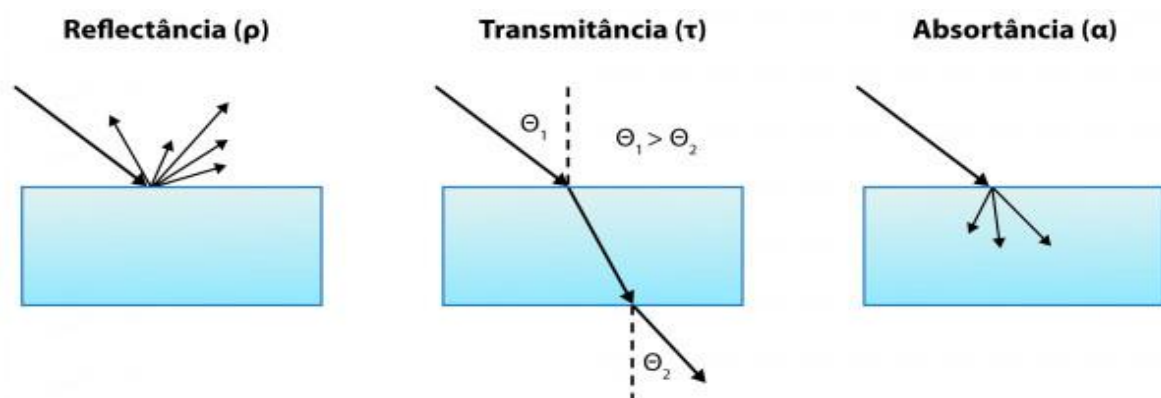
Ao incidir sobre o topo da atmosfera terrestre, a radiação solar propaga-se até a superfície, sendo parcialmente modificada por processos de reflexão, absorção e espalhamento. Esses mecanismos, contudo, não retêm a totalidade do espectro solar. A fração que alcança diretamente a superfície terrestre, sem sofrer interações significativas, é denominada irradiação direta, enquanto a parcela que atinge o solo após o espalhamento atmosférico é conhecida como irradiação difusa (Rebouças *et al.*, 2015).

Conforme Trenberth et al. (2009), a radiação solar que incide no topo da atmosfera terrestre sofre diferentes interações até atingir a superfície. Aproximadamente 30% dessa energia é refletida de volta ao espaço por moléculas de gases, nuvens e partículas atmosféricas (cerca de 76 W/m^2), além da superfície terrestre, que reflete em torno de 24 W/m^2 . Uma fração menor, próxima de 20% (79 W/m^2), é absorvida diretamente pela atmosfera, enquanto cerca de metade da radiação solar total é absorvida pela superfície da Terra (Trenberth *et al.*, 2009; Santos *et al.*, 2018).

As nuvens, partículas e gases atmosféricos reemitem parte dessa energia sob a forma de radiação de ondas longas, tanto para o espaço quanto novamente para a superfície, contribuindo para o equilíbrio do balanço radiativo terrestre. Esse processo assegura que a quantidade de energia solar absorvida pela Terra seja, em média, equivalente à energia reirradiada, mantendo o sistema climático em equilíbrio dinâmico (Trenberth *et al.*, 2009; Santos *et al.*, 2018).

Quando a radiação incide sobre um objeto, ela pode ser refletida, absorvida ou transmitida, no caso de materiais transparentes. De forma geral, a fração absorvida é convertida em calor ou em outra forma de energia, enquanto a fração refletida é dispersa no espaço. A capacidade de um material de refletir a radiação é denominada reflectância; sua habilidade de absorver energia radiante corresponde à absorptância; e a capacidade de permitir a passagem da radiação através de sua estrutura é definida como transmitância, conforme ilustrado na Figura 3. Assim, um objeto opaco e de coloração escura apresenta baixa reflectância, alta absorptância e transmitância praticamente nula (Steffen, 2011).

Figura 2- Representação esquemática dos fenômenos de reflectância, absorptância e transmitância

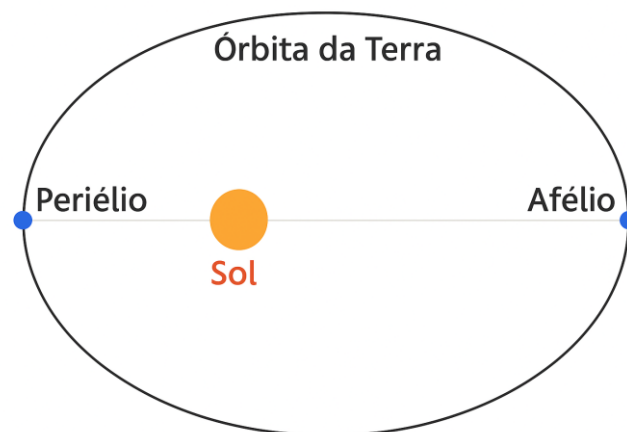


Fonte: Fundação CECIERJ, 08 set. 2025

3.3 Comportamento da radiação solar e sua relação com os movimentos da terra

A Terra está em constante movimento em torno do Sol, descrevendo uma órbita elíptica, conforme apresentado na Figura 4. Durante esse trajeto, o planeta passa por posições em que se encontra mais próximo ou mais distante do Sol, denominadas periélio e afélio, respectivamente. Essa diferença de distância faz com que a quantidade de energia solar recebida varie ao longo do ano, sendo que, no periélio, a Terra recebe cerca de 3,4% a mais de radiação solar em comparação ao afélio. Tal variação ocorre porque a intensidade da radiação incidente é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre a Terra e o Sol, o que influencia diretamente a disponibilidade energética na superfície terrestre (Santos, 2015).

Figura 3- Órbita elíptica da Terra em torno do Sol



Fonte: Adaptado de UFMG – Espaço do Conhecimento. Movimentos orbitais.

Segundo Aboud, para a realização de cálculos de carga de resfriamento, desempenho de coletores solares e sistemas fotovoltaicos, é fundamental compreender o comportamento da radiação solar total horária, a qual depende de diversas variáveis e condições atmosféricas. A radiação emitida pelo Sol, ao atravessar a atmosfera terrestre, interage com partículas e gases, resultando em dispersão e difusão da energia solar. Além disso, os ângulos solares variam simultaneamente conforme a localização geográfica e o horário, o que provoca alterações contínuas na irradiação solar. Essas variações ocorrem devido a múltiplos fatores, entre os quais se destacam os chamados componentes solares fundamentais, responsáveis por influenciar diretamente a intensidade e a disponibilidade da radiação que atinge a superfície da Terra (ABOUD, 2023)

3.4 Energia Solar no Brasil

No contexto nacional, o Brasil se destaca como um país rico em recursos naturais e com condições especialmente favoráveis à utilização de energias renováveis, em especial a eólica e a solar. Seu clima tropical e o elevado índice de radiação solar ao longo de todo o ano tornam viável o aproveitamento dessas fontes em larga escala, o que fortalece ainda mais o potencial energético nacional e alinha o país às metas estabelecidas pelo Acordo de Paris (Silva; Araújo, 2022).

Apesar desse potencial, a matriz energética brasileira ainda é majoritariamente baseada em usinas hidrelétricas, que dependem de um regime estável de chuvas para manter seus reservatórios em níveis adequados. Em períodos de escassez hídrica, torna-se necessário acionar as termelétricas, cujo funcionamento implica custos operacionais mais elevados e impactos ambientais significativos, devido à maior emissão de poluentes e à pressão adicional sobre o meio ambiente (Machado; Miranda, 2015).

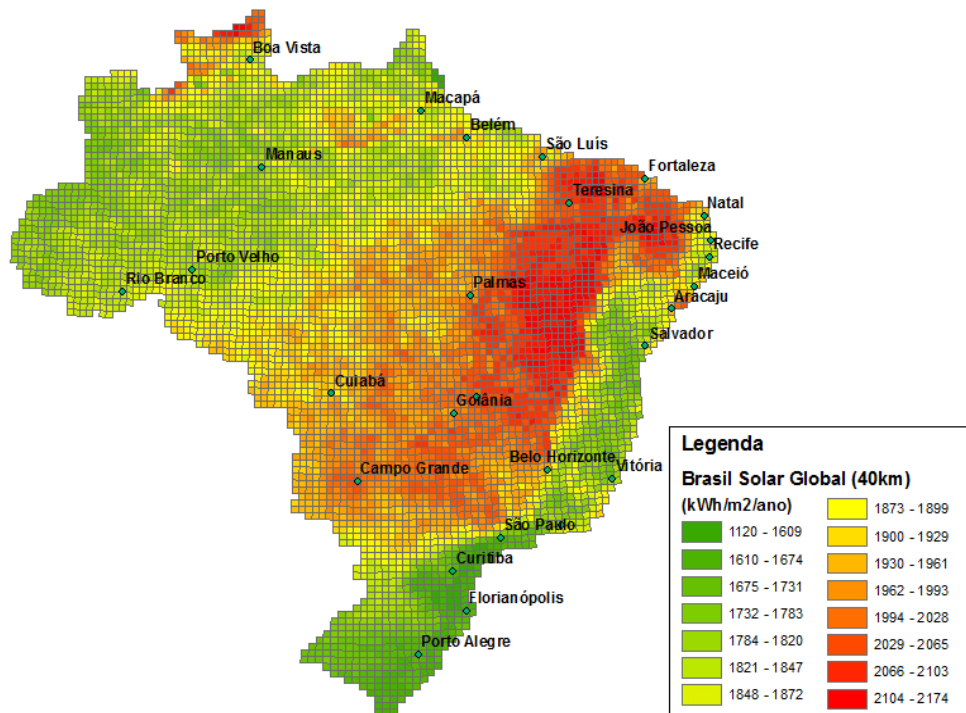
Diante desse cenário, o Brasil tem investido em laboratórios e equipes especializadas no desenvolvimento de tecnologias voltadas à purificação do silício, produção de células e módulos fotovoltaicos, inversores e controladores de carga, além do estudo de aplicações dessas soluções. No entanto, o país ainda não alcançou o mesmo nível de maturidade tecnológica dos países desenvolvidos, o que exige esforços contínuos de todos os atores do setor para consolidar e ampliar o uso dessas energias (Silva; Araújo, 2022).

Mesmo com tais limitações, o crescimento da energia solar no Brasil tem sido expressivo. Já em 2006, o país registrava a instalação de mais de 250 mil aquecedores solares em residências, número que correspondia a cerca de 0,6% dos lares brasileiros. Esse marco inicial, mesmo diante de restrições tecnológicas, já indicava uma tendência de expansão contínua e demonstrava o enorme potencial do território nacional para transformar um recurso abundante e renovável em alternativa estratégica para a matriz energética (Carvalho; Lopes; Andrade, 2023).

Essa tendência se intensificou nas últimas décadas. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), somente em 2024 foram incorporadas 290.140 novas unidades geradoras solares ao sistema elétrico brasileiro, consolidando essa fonte como uma das principais alternativas renováveis do país. Nesse mesmo período, as fontes solar e eólica

responderam juntas por 91,13% de toda a expansão energética nacional, evidenciando a predominância das energias renováveis no processo de diversificação da matriz elétrica brasileira (Agência Gov, 2025).

Figura 4- Radiação global média anual no Brasil ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{ano}$), com resolução de $40 \text{ km} \times 40 \text{ km}$.



Fonte: Miranda (2013)

Por estar localizado em uma faixa predominantemente tropical, o Brasil apresenta ampla disponibilidade de energia solar em praticamente todo o seu território, conforme ilustrado na Figura 1. A média anual de irradiação solar global horizontal diária no país é consideravelmente superior à registrada na maioria dos países da União Europeia, onde o aproveitamento desse recurso energético já é bastante difundido. Nas regiões Sul e Nordeste, os índices médios de irradiação atingem, respectivamente, $4,2 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ e $5,9 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$. Mesmo as áreas com clima mais ameno apresentam viabilidade técnica e econômica para a utilização de sistemas de aquecimento solar de água (Jordan; Seye; Motomiya, 2015).

3.5 Panorama e Desafios da Energia Solar no Brasil e no Mundo

Apesar do vasto potencial da energia solar, sua adoção em larga escala ainda enfrenta desafios relacionados aos custos de implementação. As tecnologias voltadas à captação dessa fonte utilizam materiais semicondutores capazes de transformar fótons de luz em eletricidade. Entre os anos de 2000 e 2004, observou-se um crescimento de aproximadamente 60% no uso dessa tecnologia para geração de energia; entretanto, sua expansão segue fortemente condicionada a fatores de ordem política e orçamentária (Fapesp, 2007; Silva; Araújo, 2022).

No curto prazo, a redução dos custos associados ao aproveitamento da energia solar depende do avanço de pesquisas que promovam o aperfeiçoamento dos componentes empregados nos equipamentos, como a melhoria dos processos de fabricação de células solares e o desenvolvimento de tecnologias de filmes finos, que permitem diminuir a quantidade de material necessário na produção dos painéis. Já no longo prazo, uma das alternativas mais promissoras envolve a instalação de grandes usinas solares fotovoltaicas em áreas abertas, como desertos, aliada à construção de redes de transmissão capazes de levar a energia gerada até os centros urbanos. Apesar do potencial, essa estratégia é considerada ambiciosa e requer elevado nível de planejamento e investimento (Fapesp, 2007; Silva; Araújo, 2022).

Diversos países recebem elevados níveis de radiação solar ao longo do ano, e a população tem demonstrado crescente interesse pela adoção dessa fonte (HAW et al., 2009). Para que a integração fotovoltaica avance de forma significativa no setor residencial, a redução do custo dos módulos, aliada ao engajamento dos consumidores e à implementação de políticas públicas adequadas, mostra-se essencial. Nesse sentido, sistemas de baixo custo assumem papel estratégico, pois viabilizam a geração própria de eletricidade pelas famílias, reduzem despesas com energia e fortalecem uma matriz mais sustentável (Thadani; Go, 2021).

Outro aspecto crítico refere-se ao consumo de energia nos edifícios, diretamente relacionado ao aquecimento, tanto de ambientes quanto de água. Estima-se que cerca de 37% da demanda energética total esteja associada à climatização e 12% ao aquecimento de água, o que evidencia a relevância de soluções sustentáveis e economicamente viáveis para esses usos (Mostafaeipour *et al.*, 2022).

No Brasil, o aquecimento de água por chuveiros elétricos representa uma das principais parcelas do consumo residencial de energia elétrica, especialmente nos horários de pico. Esse padrão de uso pressiona o sistema elétrico nacional e eleva os custos de geração e distribuição. Como alternativa, os coletores solares se destacam por utilizar a irradiação solar, fonte limpa, renovável e abundante em território brasileiro para o aquecimento de água destinada ao uso doméstico, configurando uma solução eficiente e de baixo impacto ambiental (Carvalho; Sionek, 2015).

3.6 Componentes do sistema de aquecimento solar

O coletor solar constitui o principal componente de um sistema de aquecimento solar, sendo um dispositivo projetado para captar a radiação proveniente do Sol e convertê-la em energia térmica, a qual é transferida para um fluido de trabalho. Esse fluido pode ser ar, água, óleo ou até mesmo solventes orgânicos específicos, dependendo da aplicação e das características do sistema.(Jebasingh; Herbert, 2016).

A energia térmica acumulada no coletor pode ser aproveitada em diversas finalidades, como o aquecimento de água para uso doméstico, a climatização de ambientes, o suporte a processos industriais e, em sistemas mais avançados, até a geração de eletricidade. Dessa forma, os coletores solares representam uma tecnologia versátil e essencial para o aproveitamento sustentável da energia solar (Jebasingh; Herbert, 2016).

Segundo Pan, Kao e Wong (2012), a temperatura ambiente varia significativamente ao longo dos meses e entre diferentes regiões, o que também influencia diretamente a temperatura da água de abastecimento. No inverno, a água apresenta temperaturas mais baixas, exigindo maior quantidade de radiação solar para atingir o aquecimento desejado, enquanto no verão essa demanda é reduzida devido às condições térmicas mais favoráveis. Diante dessas variações sazonais, torna-se essencial o uso de um reservatório térmico (boiler), que permite armazenar a água aquecida para utilização em períodos de menor incidência solar, como dias nublados ou chuvosos, garantindo assim a continuidade e eficiência do sistema de aquecimento solar (Pan; Kao; Wong, 2012).

Nos coletores solares, a transmissividade e a absorvidade da radiação solar desempenham papel fundamental no aproveitamento eficiente da energia. Contudo, parte dessa energia pode ser perdida devido à convecção, condução térmica e à emissão de radiação

infravermelha pela superfície absorvedora. Por esse motivo, é desejável que a emitância térmica dessa superfície seja a menor possível, a fim de minimizar as perdas de calor e aumentar o rendimento do sistema. Além das propriedades ópticas dos materiais que compõem o coletor, o desempenho global do equipamento também é influenciado por fatores externos, como a disponibilidade de radiação solar no local de instalação e a temperatura da água na entrada do sistema, que afetam diretamente a eficiência térmica do aquecimento (Siqueira *et al.*, 2009).

3.7 Coletor solar de baixo custo

Nesse contexto, o aprimoramento dos mecanismos de transferência de calor em componentes individuais tem se consolidado como uma linha de pesquisa essencial, uma vez que a eficiência dos sistemas solares depende diretamente da capacidade de conversão e armazenamento térmico. Conforme Li, Gong, Wang e Lund (2024), os esforços voltados para o aperfeiçoamento desses processos permitem alcançar soluções mais sustentáveis e inovadoras, promovendo avanços significativos na utilização da energia solar. (Li, Zheng-yang, *et al.*, 2024)

Resultados experimentais reforçam essa tendência. Um estudo conduzido por Fernando Chichango *et al.* (2024), que combinou medições de campo e simulações computacionais, demonstrou que o aquecedor solar, quando integrado a sistemas de armazenamento térmico, alcança altos índices de eficiência energética. Essa constatação destaca a importância da pesquisa em soluções de armazenamento de calor como estratégia para ampliar o aproveitamento da energia solar em regiões com variações sazonais de radiação. (Chichango, Fernando *et al.*, 2024)

No Brasil, dados recentes da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia, indicam que 50% da oferta interna de energia provém de fontes renováveis (EPE, 2025). A energia solar térmica apresenta contribuição significativa nesse cenário: a produção equivalente a 13,4 TWh, caso fosse suprida por chuveiros elétricos, representa uma importante economia de eletricidade e redução de impacto ambiental. Estima-se que o uso do chuveiro elétrico responda por 25% a 35% do consumo doméstico de energia, segundo a Agência Estadual de Serviços Públicos do Mato Grosso do Sul (AGEMS). Em contrapartida, em áreas isoladas e sem acesso à rede elétrica convencional, o aquecimento de água ainda depende de geradores a diesel ou sistemas a gás, que não se enquadram como fontes renováveis. Considerando o elevado potencial solar do território brasileiro, que recebe de 1.500

a 2.500 kWh/m² anuais, o uso de coletores solares de baixo custo apresenta-se como alternativa viável e sustentável para atender às populações fora do Sistema Interligado Nacional (SIN) (Aragão *et al.*, 2017).

Pesquisas recentes têm avançado na busca por eficiência térmica e acessibilidade em coletores solares. Materiais isolantes de baixo custo, como bolha plástica e lã cerâmica, têm apresentado ganhos expressivos na retenção de calor (Kumar *et al.*, 2019). Além disso, coletores com materiais de isolamento transparente (TIM) elevam a eficiência térmica e evitam o superaquecimento dos sistemas (Kizildag *et al.*, 2022). Sistemas de rastreamento solar acessíveis também se mostram fundamentais para maximizar a captação de energia ao acompanhar a trajetória do sol (Alhadri *et al.*, 2022). A combinação dessas tecnologias — isolamento térmico eficiente e rastreamento solar simplificado — tem potencial para democratizar o uso da energia solar, tornando-a mais sustentável e economicamente viável.

Além do uso doméstico, a energia solar térmica tem ganhado espaço em setores industriais e agropecuários. (Conceição *et al.* 2020) desenvolveram um coletor solar para aquecimento de ar, utilizado em processos de secagem agrícola de grãos e sementes, apresentando-se como alternativa ecológica ao uso de lenha e combustíveis fósseis. De forma semelhante, (Sales Júnior 2021) elaborou um protótipo de aquecimento de água por coletores solares destinado a caldeiras termelétricas, com o objetivo de reduzir o consumo de combustível na geração de vapor. Esses estudos reforçam o papel estratégico da energia solar não apenas na matriz elétrica, mas também na eficiência energética industrial, consolidando-a como uma das principais fontes renováveis para um futuro mais sustentável.

De forma geral, a literatura evidencia que o avanço da energia solar depende não apenas do desenvolvimento tecnológico, mas também de políticas públicas, incentivos econômicos e conscientização social. O investimento em pesquisa aplicada e em tecnologias de baixo custo é essencial para ampliar o acesso à energia limpa, reduzir desigualdades energéticas e mitigar os impactos ambientais decorrentes do uso de fontes fósseis.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O processo de aquecimento foi maximizado pintando os canos (coletor) com tinta preta fosca. Quando irradiado, o coletor recebe energia e transfere em forma de calor para a água. Aquecida, a água se torna menos densa e sobe ao longo do coletor. Dessa forma, a água

aquecida entra na parte superior da caixa térmica abastecendo o reservatório (termosifão) e a água com temperatura menor, na base da caixa térmica, desce para o coletor num processo cíclico. O coletor foi posteriormente envolvido com garrafas PET a fim de evitar a troca de calor com o ambiente por convecção. A estrutura foi posicionada com uma projeção de vinte e dois graus (correspondente à latitude do município de Rosana) em relação ao solo e voltada para o Norte geográfico, otimizando a captação de radiação solar ao longo do dia. Para simular o posicionamento da caixa d'água numa residência, utilizou-se tijolos ao redor da caixa térmica cobertos com telha de fibrocimento, minimizando a perda de calor acumulada. Na Tabela 1 apresenta-se os materiais utilizados para montagem do coletor solar. Analisando os custos dos materiais, demonstra-se que o custo pode chegar a dez vezes menor comparado a coletores solar de placa plana comercial.

Tabela 1- Materiais e custos para desenvolvimento do coletor solar

Materiais	Quantidade (unidades)	Custo (R\$)
Caixa Térmica de Armazenamento	1	R\$ 300,00
Garrafas Pet Transparente	60	Reciclado
Barra de 1m de Cano PVC ½ pol.	10	R\$ 50,00
Joelho soldável PVC ½ 90°	4	R\$ 5,16
Conexões T	15	R\$ 34,50
Folha de lixa 1000	1	R\$ 1,50
União flange de 20mm	2	R\$ 30,00
Torneira comum 1/2	1	R\$ 5,00
Silicone	2	R\$ 44
Adesivo resina epóxi	1	R\$ 15
Custo total do projeto		R\$ 485,16

O aquecedor solar foi construído conforme Figura 5. Os canos de PVC foram cortados em 1 m de comprimento, unidos por Te soldável, e conectados a caixa térmica que funcionará como reservatório para manter a temperatura da água aquecida.

Figura 5- Coletor montado com as garrafas PET.



Fonte: próprio autor (2025)

Os dispositivos utilizados para realizar as medições foram dois termômetros da marca Incoterm, que fazem medições internas e medições externas, ou seja, ele consegue medir duas temperaturas ao mesmo tempo por ter dois dispositivos de medição, sendo que na parte interna ele realiza medições de -20 C° a 50 C° , já para a parte externa que resulta em um fio as medições podem ser realizadas de -50 C° a 70 C° . Para realizar as medições da radiação solar foi utilizado o medidor de energia solar digital MOD.MES-100 da marca INSTRUTHERM que consegue medir até 2000 W/m^2 com uma precisão de 10 W/m^2 de acordo com os dados obtidos do manual do fabricante. As medições foram realizadas 3 vezes ao dia, durante 7 dias consecutivos, sendo realizadas pela manhã às 7:30 AM, a tarde às 13:30 PM e no período da noite as 19:00 PM. Além de coletar os dados das temperaturas do reservatório de água (caixa térmica), foram realizadas medições de radiação solar local, medições da temperatura de uma torneira da FEC (Unesp - Rosana) próximo ao local onde estava instalado o aquecedor e medição da temperatura da torneira do coletor.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a construção do coletor, objetivou-se avaliar quanto tempo depois do preenchimento com água o dispositivo levaria para aquecer e estabilizar a temperatura (Tabela 2). Inicialmente, as medições foram realizadas sem o recobrimento de garrafas e sem fechamento de estrutura em tijolos. Nota-se que, hora após hora a temperatura aumenta, atingindo o valor máximo de 40,3°C após 7 horas, o que acontece paralelo ao aumento da temperatura ambiente (máximo 34,6°C) e da radiação solar (máximo 1038 W/m²). Observa-se que a temperatura de fornecimento da torneira da universidade permaneceu próximo a 29°C ao longo do dia (máximo 29,7°C), o que demonstra que o sistema ofereceu um aumento de cerca de 35% na temperatura da água em relação ao ambiente.

Tabela 2- Medição da eficiência do coletor solar, hora a hora, iniciando às 9:00h da manhã, após preenchimento com água (abril) com reservatório sem cobertura.

Mês: Abril				
Hora	Caixa (°C)	Água de fornecimento (°C)	Radiação (W/m ²)	Temp. Ambiente (°C)
9:00	30,3	29,1	944,3	29,6
10:00	30,4	29,6	965,6	31,7
11:00	32,2	28,7	1007,0	33,8
12:00	33,6	29,0	1013,0	33,5
13:00	37,3	29,2	1025,0	34,1
14:00	38,5	29,3	1038,0	34,4
15:00	39,5	29,7	1038,0	34,5
16:00	40,3	29,5	963,7	34,6
17:00	40,1	29,1	828,1	32,8
18:00	38,2	29,2	331,9	31,4
19:00	38,5	28,8	2,85	30,9

Fonte: Elaborado pelos autores.

Depois de instalado, o sistema ficou em *stand by* durante um período de duas semanas para avaliação de funcionamento e então, ao longo do mês de maio, com temperaturas mais amenas, realizou-se medições ao longo de 7 dias, nos três períodos do dia, para comparar a eficiência do coletor (Tabela 3).

Tabela 3- Medição da eficiência do coletor solar no mês de maio ao longo do dia (7:30 h, 15:00 h e 19:00 h) com reservatório fechado com estrutura em tijolos e cobertura de telhas de fibrocimento.

Mês: Maio											
MANHÃ (7:30 h)					TARDE (15:00 h)				NOITE (19:00 h)		
Dia	Caixa (°C)	Água de fornecimento (°C)	Temp. Ambiente (°C)	Radiação (W/m²)	Caixa (°C)	Água de fornecimento (°C)	Temp. Ambiente (°C)	Radiação (W/m²)	Caixa (°C)	Água de fornecimento (°C)	Temp. Ambiente (°C)
1	27,0	26,8	27,9	518,5	36,2	28,5	36,2	1129	38,3	26,9	29,4
2	28,4	28,4	23,7	213,5	32,0	28,3	31,4	1259	36,5	26,2	26,9
3	25,1	25,6	20,1	186,9	30,4	27,3	32,4	960,8	37,3	26,3	26,7
4	30,8	25,2	23,6	184,8	35,4	27,9	31,6	1103,0	39,3	27,5	28,7
5	19,6	18,4	17,6	189,1	23,5	23,4	19,1	532,1	29,1	23,7	22,5
6	23,9	20,2	20,0	187,3	29,8	25,6	27,1	762,4	35,3	24,9	24,9
7	27,4	22,7	23,3	193,7	31,5	26,8	27,5	758,2	37,2	26,3	27,4

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 4- Medição da eficiência do coletor solar no mês de junho ao longo do dia (7:30 h, 15:00 h e 19:00 h) com recobrimento de garrafas.

Mês: Junho											
MANHÃ (7:30 h)					TARDE (15:00 h)				NOITE (19:00 h)		
Dia	Caixa (°C)	Água de fornecimento (°C)	Temp. Ambiente (°C)	Radiação (W/m ²)	Caixa (°C)	Água de fornecimento (°C)	Temp. Ambiente (°C)	Radiação (W/m ²)	Caixa (°C)	Água de fornecimento (°C)	Temp. Ambiente (°C)
1	23,8	21,3	21,3	73,5	37,8	26,6	28,2	704,3	36,3	23,1	27,5
2	27,4	18,8	18,4	71,8	36,1	24,8	29,1	782,6	39,3	23,1	25,6
3	27,6	22,1	21,3	62,6	39,1	25,1	29,2	228,5	39,3	24,6	28,1
4	26,8	21,9	21,0	37,2	40,8	25,2	28,8	552,7	42,4	25,5	27,5
5	26,0	21,3	21,2	138,0	27,8	23,4	25,8	127,8	33,5	23,4	25,5
6	21,2	19,5	16,7	13,3	26,4	24,0	24,7	253,4	29,9	24,3	22,0
7	20,8	17,9	16,5	31,9	37,3	24,1	25,3	166,9	35,2	22,7	24,5

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 5- Medição da eficiência do coletor solar no mês de julho ao longo do dia (7:30 h, 15:00 h e 19:00 h) com recobrimento de garrafas e reservatório fechado (tijolos e telha fibrocimento)

Mês: Julho											
MANHÃ (7:30 h)					TARDE (15:00 h)				NOITE (19:00 h)		
Di a	Caixa (°C)	Água de fornecimento (°C)	Temp. Ambiente (°C)	Radiação (W/m²)	Caixa (°C)	Água de fornecimento (°C)	Temp. Ambiente (°C)	Radiação (W/m²)	Caixa (°C)	Água de fornecimento (°C)	Temp. Ambiente (°C)
1	19,6	14,7	12,8	24,3	24,8	22,5	21,9	516,9	28,0	19,6	19,6
2	20,0	19,8	14,3	35,4	32,2	26,3	27,7	549,5	34,5	22,4	23,4
3	24,1	17,8	17,5	41,4	33,5	21,6	27,3	597,4	36,5	22,3	24,3
4	24,4	17,0	17,3	52,8	34,3	31,6	29,6	733,8	36,8	24,4	24,7
5	25,2	16,0	17,0	32,1	34,4	25,7	28,2	583,8	36,4	22,5	24,6
6	24,3	17,7	17,2	36,8	24,3	17,7	28,7	656,7	35,7	22,3	23,0
7	24,7	16,8	16,4	46,7	33,2	25,9	28,5	677,2	36,7	23,2	24,5

Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se que, com a redução da temperatura ambiente, o coletor tem sua eficiência reduzida com a mínima atingida no quinto dia de medição (19,6°C) comparada à temperatura ambiente de 17,6°C. O máximo atingido no período da manhã foi de 30,8°C no dia 4. Da mesma forma, a temperatura máxima atingida pelo coletor foi de 39,3°C atingida no período noturno no final do dia 04 associado aos dias precedentes que tiveram temperaturas acima de 30°C no período da tarde com média de radiação solar de 1116 W/m². Visto que a partir deste dia a temperatura ambiente, especialmente no período da tarde, não apresentou aumento significativo, ficando abaixo de 30°C, nota-se a redução da eficiência do coletor.

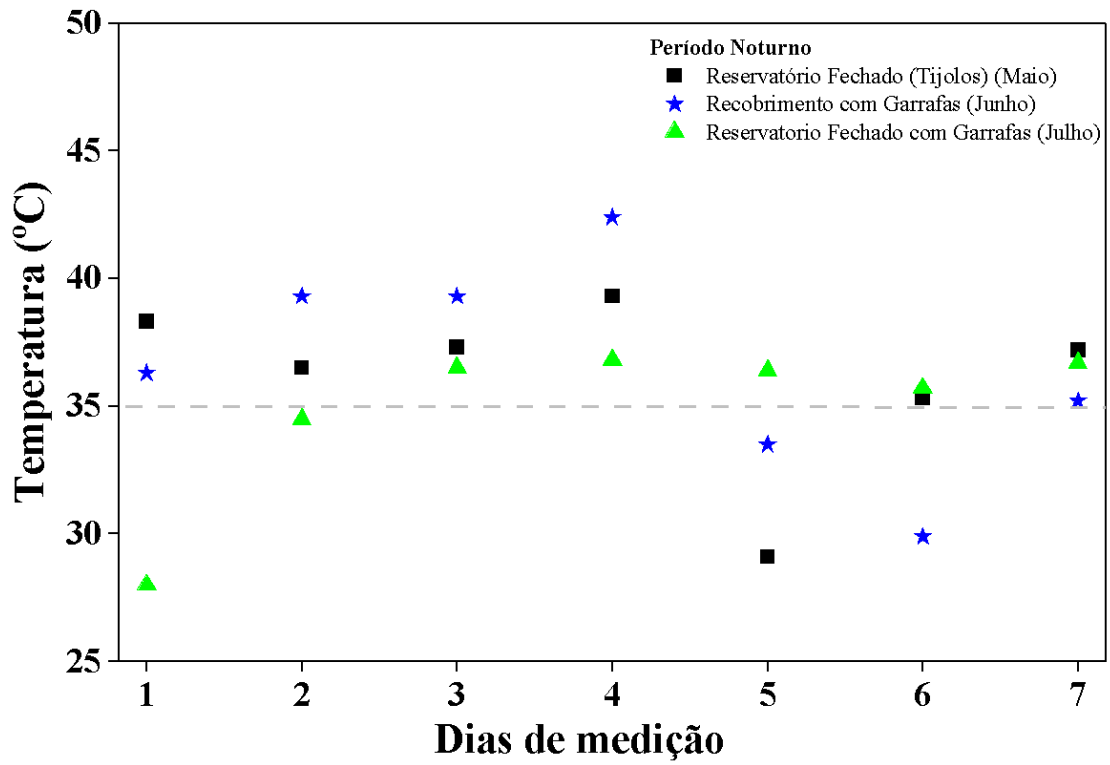
Ao realizarmos as medições de temperatura, e verificar baixa eficiência de aquecimento, realizamos uma adaptação que envolve o recobrimento do coletor solar com garrafas PET para evitar a perda de calor devido a convecção. Novas medições foram realizadas, agora com o recobrimento de garrafas, para verificar a eficiência do coletor (Tabela 4).

Observa-se que, mesmo com índices de radiação muito menores, atingindo o máximo em 704,3 W/m² (Dia 1) e temperaturas que não superaram os 30°C no período da tarde, o reservatório atingiu a temperatura máxima de 42,4°C (dia 4, período noturno), apresentando temperaturas maiores do que antes de inserir as garrafas PET, atribuído a redução na perda por convecção para o ambiente externo. Além disso, em geral o coletor manteve as temperaturas ao longo dos dias de medição do mês de junho superiores ao sistema apenas com o reservatório protegido, mesmo com temperaturas ambientes e índice de radiação mais baixos que no mês anterior, o que evidencia uma melhoria na eficiência do coletor, especialmente em manter a água aquecida por mais tempo, visto que durante a madrugada, em geral, o reservatório perde energia.

No mês de julho (Tabela 5), com as médias de temperaturas mais baixas dentre os meses considerados, a medição da eficiência do coletor solar com recobrimento de garrafas e reservatório fechado (tijolos e telha fibrocimento), manteve temperaturas próximas a 35°C (exceto pelo primeiro dia de medição apresentando temperatura de 28°C) no período noturno. Apesar de não atingir a faixa de temperatura ideal para banho de 37°C e 42°C para o inverno, seria possível gerar uma economia de energia para o aquecimento complementar da água do reservatório tornando-a ideal para banho.

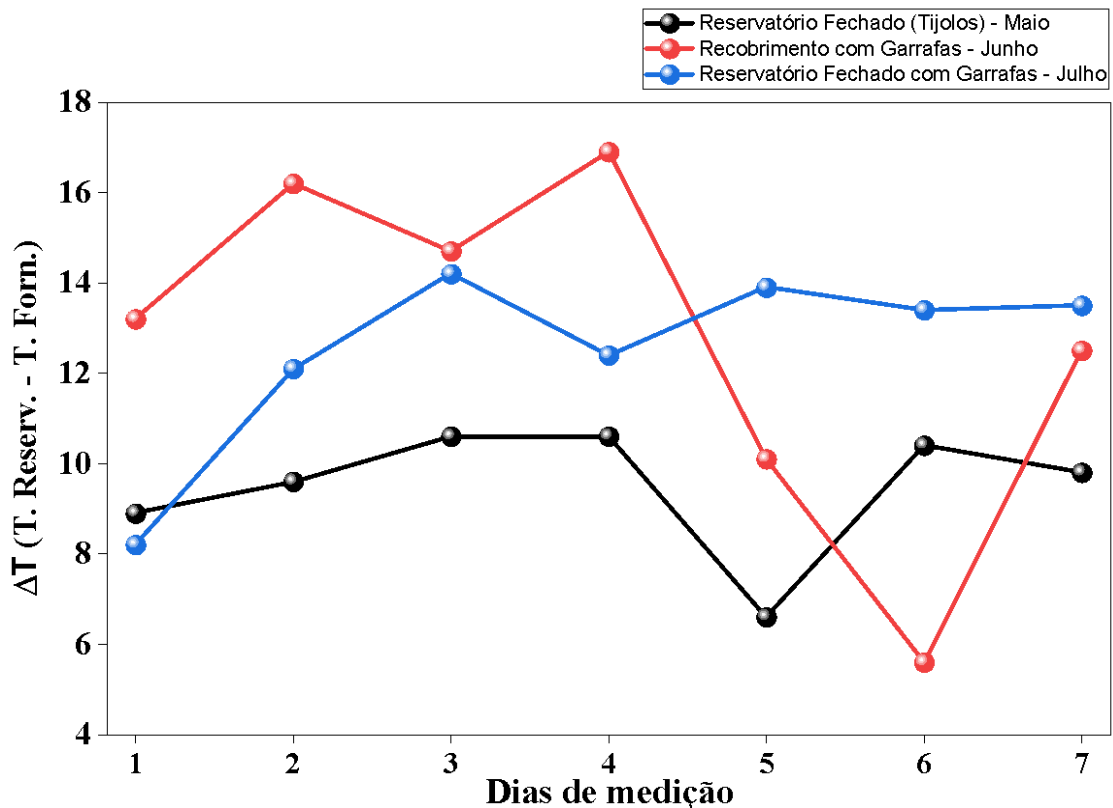
Na Figura 6, mostra-se um comparativo das temperaturas do reservatório no período noturno comparando os diferentes sistemas ao longo do ano de medição.

Figura 6- Comparativo das temperaturas do reservatório no período noturno ao longo dos meses de análise.



Fonte: Próprio autor

Figura 7- Comparativo entre a diferença entre as temperaturas registradas na rede de abastecimento de água e a temperatura da água do reservatório ao longo do ano de medição.



Fonte: Próprio autor

Observa-se que, na maioria dos dias de medição, o reservatório manteve as temperaturas acima de 35°C, e mesmo no mês de junho (início do inverno) o coletor apresenta temperaturas que se aproximam de 40°C. Considerando situações emergenciais e de precariedade, o sistema poderia melhorar a qualidade de vida de moradores de regiões remotas que não tem acesso a rede de distribuição de eletricidade (impossibilitando aquecimento por chuveiro elétrico).

Na Figura 7, compara-se a diferença entre as temperaturas registradas na rede de abastecimento de água e a temperatura da água do reservatório ao longo do ano de medição para as diferentes configurações do coletor.

Observa-se que, com a incorporação de garrafas ao redor dos canos do coletor, criando um microambiente e evitando a perda de energia por convecção, a temperatura do reservatório é ampliada em relação a temperatura da rede de fornecimento, chegando a cerca de 17°C maior no mês de junho (dia 4). Comparado ao sistema apenas com reservatório fechado com tijolos e telha de fibrocimento, a diferença entre as temperaturas é de 60 a 70% maior para o sistema com garrafas com exceção para o 5º dia de maio e o 6º de junho. Nestes dias as temperaturas ambientes apresentaram quedas abruptas, atribuído a condições meteorológicas (nublado),

atingindo 17,6°C em maio e 16,7°C em junho, mostrando uma influência negativa da temperatura sobre a eficiência do coletor. Apesar da temperatura máxima atingida pelo reservatório ser menor em julho, observa-se que, com a inserção das garrafas no coletor e o reservatório fechado (tijolos e telha de fibrocimento), a diferença de temperatura entre o reservatório e água de fornecimento é mantida de forma mais constante, mesmo com a temperatura ambiente variando entre 12,8°C e 17,5°C ao longo do período de sete dias de medição.

6. CONCLUSÃO

Este estudo apresentou o desenvolvimento e análise de um coletor solar de baixo custo voltado para o aquecimento de água em residências. Resultados demonstraram que a água do reservatório atingiu a temperatura máxima de 42,4°C em junho, e manteve uma média de 36,4°C durante a semana de avaliação em julho (mesmo durante o inverno). Comparando a diferença entre as temperaturas registradas na rede de abastecimento de água e a temperatura da água do reservatório, a temperatura do coletor atingiu até 17°C a mais do que a água de fornecimento no mês de junho. Da mesma maneira, a inclusão de garrafas ao redor dos canos do coletor e a proteção do reservatório com tijolos e telha de fibrocimento favoreceu uma diferença maior entre as temperaturas registradas na rede de abastecimento de água e a temperatura da água do reservatório mantida com maior consistência comparada as demais configurações do coletor solar. Dessa forma, a utilização de materiais de baixo custo e estratégias de isolamento térmico demonstradas são fundamentais para maximizar a eficiência do sistema, contribuindo para a retenção de calor. O estudo reitera a importância de promover acesso à energia de fontes renováveis e de baixo custo que possam melhorar a qualidade de vida de comunidades localizadas em regiões remotas, isto é, sem acesso ao Sistema Interligado Nacional de energia elétrica ou que possam ser utilizados de forma híbrida a sistemas de aquecimento, como chuveiro elétrico, reduzindo a energia necessária para elevar a temperatura da água a níveis ideais para banho.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA GOV. Com aumento de 10,9 GW em 2024, matriz elétrica nacional bate recorde histórico. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202501/matriz-eletrica-teve-aumento-de-10-9-gw-em-2024-maior-expansao-da-serie-historica>. Acesso em: 25 ago. 2025.
- AHMADI, A. *et al.* Recent residential applications of low-temperature solar collector. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, p. 123549, 2021.
- ALHADRI, Muapper *et al.* Design of a low-cost parabolic concentrator solar tracking system: tubular solar still application. **Journal of Solar Energy Engineering**, v. 144, n. 5, p. 051006, 2022.
- ANG, Tze-Zhang *et al.* Um estudo abrangente de fontes de energia renováveis: classificações, desafios e sugestões. **Energy Strategy Reviews**, v. 43, p. 100939, 2022.
- ARAGÃO, Isabela Santos *et al.* Análise comparativa de um aquecedor solar convencional com um aquecedor solar de baixo custo. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**, 9., 2016, Salvador. Anais [...]. Salvador, 2016.
- CARVALHO, Filipe Rocha de; SIONEK, Mirella Cristina. Análise da eficiência de um coletor solar plano. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.
- CARRERO, C.; AMADOR, J.; ARNALTES, S. A single procedure for helping PV designers to select silicon PV modules and evaluate the loss resistances. **Renewable Energy**, v. 32, n. 15, p. 2579–2589, 2007.
- CHICHANGO, Fernando *et al.* Análise da eficiência energética de sistemas de aquecimento solar de água com armazenamento de calor sensível em Moçambique. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 9, 2024.
- CONCEIÇÃO, Erick Douglas Pinto *et al.* Desenvolvimento e caracterização de um coletor solar de ar de baixo custo. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR (CBENS)**, 2020. Anais [...]. 2020.
- CORREA, I. B.; SÁ, J. S. Análise da perda de carga em coletores solares de baixo custo quanto às características construtivas. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 1, p. 66–71, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/RBES/article/view/449>. Acesso em: 23 nov. 2025.
- ESPOSITO, Alexandre Siciliano; FUCHS, Paulo Gustavo. Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1421>. Acesso em: 2025.
- FAPESP. *Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho*. São Paulo: Fapesp, 2007. Disponível em: www.fapesp.br/publicacoes/energia.pdf. Acesso em: 2025.
- GOMES, E. N. Medidas e modelos de estimativa da radiação direta na incidência. 2006. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, 2006.
- GÓMEZ, J. M. *et al.* A irradiância solar: conceitos básicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, p. e3312, 2018.
- HAW, L.; SOPIAN, K.; SULAIMAN, Y. Resposta pública ao sistema BIPV. In: **CONFERÊNCIA INTERNACIONAL IASME/WSEAS**, 4., 2009, Cambridge. Anais [...]. Cambridge, 2009.
- HÉMERY, Daniel; DEBEIR, Jean-Claude; DELÉAGE, Jean-Paul. *Uma história da energia*. Brasília: UnB, 1993.
- JAMES, Ted *et al.* Building-Integrated Photovoltaics (BIPV). Golden: NREL, 2011.
- JEBASINGH, V. K.; HERBERT, G. M. Joselin. A review of solar parabolic trough collector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 1085–1091, 2016.

- JORDAN, Rodrigo A.; SEYE, Omar; MOTOMIYA, Anamari V. de A. Influência da vazão de água sobre o rendimento de um coletor solar plano. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 4, p. 665–675, 2015.
- KABIR, Ehsanul *et al.* Energia solar: potencial e perspectivas futuras. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 894–900, 2018.
- KEMERICH, Pedro Daniel *et al.* Paradigmas da energia solar no Brasil e no mundo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 241–247, 2016.
- KIZILDAG, Deniz *et al.* First test field performance of flat plate solar collectors with transparent insulation materials. **Solar Energy**, v. 236, p. 239–248, 2022.
- KUMAR, Amit; TIWARI, Arun Kumar; SAID, Zafar. A comprehensive review on solar energy. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 47, p. 101417, 2021.
- KUMAR, P. Ganesh *et al.* Effect of using low-cost thermal insulation material on the performance of solar collectors. **Thermal Science and Engineering Progress**, v. 14, p. 100403, 2019.
- LI, Zheng-yang *et al.* Optimizing research on flat-plate solar collector. **Energy Reports**, v. 12, p. 1977–1986, 2024.
- MA, Tao; YANG, Hongxing; LU, Lin. Modelagem e previsão de desempenho. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 36, p. 304–315, 2014.
- MACHADO, Carolina T.; MIRANDA, Fabio S. Energia solar fotovoltaica. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, p. 126–143, 2015.
- MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; PEREIRA, E. B. Scenarios for solar thermal energy. **Energy Policy**, v. 48, p. 640–649, 2012.
- MOSTAFAEIPOUR, Ali *et al.* A conceptual new model. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 49, p. 101710, 2022.
- NASPOLINI, H. F.; RÜTHER, R. The impacts of solar water heating. **Solar Energy**, v. 85, p. 2023–2032, 2011.
- PAN, Tze-Chin; KAO, Jehng-Jung; WONG, Chih-Po. Análises de custo e benefício. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 4, p. 1874–1882, 2012.
- PEREIRA, André Belmont; VRISMAN, Augusto Leandro; GALVANI, Emerson. Estimativa da radiação solar global. **Scientia Agrícola**, v. 2, p. 211–216, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/9BqQhQJ7PKwv47CkkmDYXbj/?lang=pt>. Acesso em: 12 nov. 2025.
- PEREIRA, Renato C. *et al.* Eficiência térmica de coletores solares de baixo custo. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS**, 17., 2006. Anais [...]. 2006. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/116207>. Acesso em: 23 nov. 2025.
- REBOUÇAS, Perila Maciel *et al.* Radiação solar e temperatura do ar em ambiente protegido. **Revista Agrogeoambiental**, v. 7, n. 2, 2015.
- SÁNCHEZ-PANTOJA, Núria; VIDAL, Rosario; PASTOR, M. Carmen. Impacto estético dos sistemas de energia solar. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 98, p. 227–238, 2018.
- SALTIRE RENEWABLES. Solar thermal vs solar PV: what's the difference? Disponível em: <https://www.saltire.co.uk/solar-thermal-solar-pv-differences/>. Acesso em: 23 ago. 2025.
- SAYED, Enas Taha *et al.* Energia renovável e sistemas de armazenamento de energia. **Energies**, v. 16, n. 3, p. 1415, 2023.
- SIQUEIRA, Débora Abrahão *et al.* Estudo de desempenho do aquecedor solar de baixo custo. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituição de Ensino, 2009.
- STEFFEN, Carlos Alberto. Solar, radiação. Disponível em: <http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>. Acesso em: 26 ago. 2025.

THADANI, Hashwini Lalchand; GO, Yun Ii. Integration of solar energy. **Heliyon**, v. 7, n. 12, 2021.

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. The Paris Agreement. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>. Acesso em: 25 ago. 2025.

WANG, Wei *et al.* Aplicação de armazenamento de energia em sistemas de energia integrados. **Journal of Energy Storage**, v. 52, p. 104812, 2022.