

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**GUILHERME CIRILO SOARES**

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA-FINANCEIRA PARA  
IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR PLANO  
FECHADO PARA UM PENSIONATO**

**GUARAPUAVA**

**2023**

**GUILHERME CIRILO SOARES**

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA-FINANCEIRA PARA  
IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR PLANO  
FECHADO PARA UM PENSIONATO**

**ECONOMIC AND FINANCIAL FEASIBILITY STUDY FOR THE  
IMPLEMENTATION OF A CLOSED FLAT SOLAR HEATING SYSTEM FOR A  
BOARDING HOUSE**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada  
como requisito para obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dr. Renan Manozzo Galante

**GUARAPUAVA**

**2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**GUILHERME CIRILO SOARES**

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA-FINANCEIRA PARA  
IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR PLANO  
FECHADO PARA UM PENSIONATO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 19/maio /2023

---

Renan Manozzo Galante  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Dayanne Marciane Gonçalves Szczepanik  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Sérgio Dalmás  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**GUARAPUAVA**

**2023**

Dedico este trabalho a você, amigo, familiar e todos aqueles que me ajudaram direta e indiretamente a concluí-lo. Sem vocês nada disso seria possível.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que de alguma forma, seja direta ou indiretamente contribuíram para a concretização desse grande desafio, que tiveram paciência comigo nos momentos de tensão e fizeram parte dessa etapa decisiva em minha vida. Em especial deixo meu agradecimento:

A minha família, que me incentivou a cada momento e não permitiu que eu desistisse ao longo do caminho.

Aos amigos queridos por tornarem esse período turbulento mais leve e sustentável.

Ao meu orientador Prof. Dr. Renan Manozzo Galante, por não me abandonar nessa caminhada, incentivando-me e colaborando no desenvolvimento de minhas ideias, sempre solícito, compreensível e de grande serenidade.

E a Isabela Schandler de Oliveira, pelo seu grande companheirismo, compreensão das ausências e afastamento temporário.

## RESUMO

Um dos grandes desafios da atualidade se encontra no abastecimento energético mundial, de modo que um dos meios de racionalizar a elevação de demanda de energia, se apresenta no aumento da participação da parcela de fontes renováveis na matriz energética que causem o menor impacto ambiental possível. A matriz energética brasileira possui grande parcela proveniente de fontes renováveis, no entanto, é composta majoritariamente por fonte hidráulica, e sua expansão para suprir o aumento da demanda energética se torna cada vez mais inviável. A energia solar no país por outro lado, ainda é pouco explorada e possui elevado potencial no Brasil, que detém bons valores de irradiação solar em seu território. Nesse contexto, a energia solar se torna altamente atrativa para complementar a matriz energética brasileira, contribuindo ainda com a parcela de fontes renováveis. Dessa forma, esse trabalho objetiva primeiro uma revisão de literatura do tema proposto, seguido do dimensionamento de um sistema de aquecimento solar e análise de viabilidade econômica da implementação de tal projeto em um pensionato com 15 pessoas na cidade de Curitiba-PR. O trabalho visa grandes residências pois, o setor residencial é o segundo maior responsável de todo consumo energético no país, sendo dentro de tal contexto, o chuveiro o equipamento que mais consome energia. No dimensionamento, seguindo as devidas normas, apresentaram-se mais adequado ao projeto do estudo de caso, um reservatório térmico de 800 L e 8 placas solares de 2,0 m<sup>2</sup>. Com o levantamento de orçamentos, foram efetuados cálculos de engenharia econômica por meio do Software Microsoft Excel. No estudo de viabilidade econômica o investimento se provou viável para diversos cenários de financiamento, obtendo números favoráveis nos indicadores de Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno, *payback* e *payback* descontado.

Palavras-chave: fontes renováveis; matriz energética; energia solar; dimensionamento; viabilidade econômica.

## ABSTRACT

One of the great challenges of today is the global energy supply, so that one of the means to rationalize the increase in energy demand is presented in the increase in the share of renewable sources in the energy matrix that cause the least possible environmental impact. The Brazilian energy matrix has a large portion from renewable sources; however, it is mainly composed of hydraulic sources, and its expansion to meet the increase in energy demand becomes increasingly unfeasible. Solar energy in the country, on the other hand, is still little explored and has high potential in Brazil, which has good values of solar irradiation in its territory. In this context, solar energy becomes highly attractive to complement the Brazilian energy matrix, contributing even more with the share of renewable sources. Thus, this work first aims at a literature review of the proposed theme, followed by the design of a solar heating system and analysis of the economic feasibility of implementing such a project in a boarding school with 15 people in the city of Curitiba-PR. The work aims at large residences, since the residential sector is the second largest responsible for all energy consumption in the country, and even within this context, the shower is the equipment that consumes the most energy. In the sizing, following the due norms, a thermal reservoir of 800 L and 8 solar panels of 2.0 m<sup>2</sup> were shown to be more suitable for the case study project. With the survey of budgets, economic engineering calculations were made using Microsoft Excel Software. In the economic feasibility study, the investment proved to be viable for several financing scenarios, obtaining valid numbers in the indicators of Net Present Value, Internal Rate of Return, payback and discounted payback.

**Keywords:** renewable sources; energy matrix; solar energy; dimensioning; economic feasibility.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1 – Média anual do total diário da irradiação global horizontal no Brasil .....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 2 – Mapa do Brasil da relação radiação solar x potência recomendada para chuveiros.....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 3 – Potencial de produção anual de energia térmica por área de coletor solar instalada .....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 4 – Principais formas de aproveitamento da energia solar .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 5 – Esquematização de um sistema de aquecimento de água por energia solar térmica .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 6 – Instalação por circulação natural ou termossifão.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 7 – Instalação por circulação forçada ou bombeada com sistema indireto.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 8 – Principais componentes de um coletor solar plano fechado .....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 9 – Principais componentes de um reservatório térmico .....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 10 – Plano elíptico, movimentos de rotação e translação.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 11 – Interação da radiação solar com a atmosfera.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 12 – Fluxograma da metodologia utilizada.....</b>	<b>42</b>
<b>Gráfico 1 - Consumo (1970-2019) e previsão (2020-2050) do consumo de energia elétrica no Brasil .....</b>	<b>14</b>
<b>Gráfico 2 - Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil, ano base 2021 .....</b>	<b>18</b>
<b>Gráfico 3 – Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica com importação – 2016/2020.....</b>	<b>21</b>
<b>Gráfico 4 – Distribuição do consumo energético no Brasil e setor residencial a partir de 2005 .....</b>	<b>21</b>
<b>Gráfico 5 – Alguns tipos de coletores solares e sua correlação com temperatura de operação .....</b>	<b>29</b>
<b>Gráfico 6 – Valor da Parcela x <i>Payback</i> e <i>Payback</i> descontado.....</b>	<b>53</b>
<b>Quadro 1 – Setores envolvidos e os benefícios e impactos positivos no uso de SAS.....</b>	<b>18</b>
<b>Quadro 2 – Classificação de instalações de aquecimento de água conforme volume diário .....</b>	<b>25</b>
<b>Quadro 3 – Vantagens e desvantagens de uma instalação com circulação natural ou termossifão.....</b>	<b>26</b>
<b>Quadro 4 – Vantagens e desvantagens de uma instalação com circulação forçada ou bombeada .....</b>	<b>28</b>
<b>Quadro 5 – Coletores solares, seus grupos e tipos .....</b>	<b>28</b>
<b>Quadro 6 – Classificações de reservatórios térmicos.....</b>	<b>30</b>
<b>Quadro 7 – Dados de entrada referente à análise de viabilidade econômica .....</b>	<b>41</b>



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de entrada referente ao dimensionamento .....	39
Tabela 2 – Irradiação solar diária média mensal e anual em Curitiba.....	40
Tabela 3 – Cenários de aquisição do capital inicial .....	42
Tabela 4 – Resultados do dimensionamento .....	43
Tabela 5 – Equipamentos selecionados.....	43
Tabela 6 – Custo médio aproximado do sistema de aquecimento solar .....	44
Tabela 7 – Fluxo de Caixa   Cenário 1 .....	45
Tabela 8 – Fluxo de Caixa   Cenário 2.....	46
Tabela 9 – Fluxo de Caixa   Cenário 3.....	46
Tabela 10 – Fluxo de Caixa   Cenário 4 .....	47
Tabela 11 – Tabela PRICE   Cenário 3.....	48
Tabela 12 – Tabela PRICE   Cenário 4.....	50
Tabela 13 – Resultados dos indicadores da análise econômica .....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento
AQS	Água quente sanitária
ASHRAE	Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração, e Ar Condicionado (do inglês - <i>American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers</i> )
FGC	Fundo Garantidor de Créditos
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LABEEE	Laboratório de eficiência energética em edificações
NBR	Norma Brasileira
PMEE	Produção Média Mensal de Energia
SAC	Sistema de Amortização Constante
SAS	Sistema de aquecimento solar
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido

## LISTA DE SÍMBOLOS

### Símbolos Gerais

$A$ [m <sup>2</sup> ]	Área
$c_p$ [kJ/kg.°C]	Calor específico
$E$ [kWh]	Energia
$EEL$ [R\$/mês]	Custo energia elétrica
$FC$ [R\$]	Fluxo de caixa
$FC_{instal}$ [-]	Fator de correção
$I_G$ [kWh/m <sup>2</sup> .dia]	Irradiância global
$j$ [-]	Período de tempo
$k$ [-]	Período de tempo
$n$ [-]	Número de períodos
$P$ [kW]	Potência
$PMEE$ [kWh/mês.m <sup>2</sup> ]	Produção Média Mensal de Energia
$Q_{pu}$ [L/min]	Vazão de utilização
$T$ [°C]	Temperatura
$t_u$ [min]	Tempo de utilização
$V$ [L]	Volume

### Símbolos Gregos

$\beta$ [°]	Inclinação do coletor com a horizontal
$\beta_{ótima}$ [°]	Inclinação ótima do coletor com a horizontal
$\rho$ [kg/L]	Massa específica
$\gamma$ [°]	Ângulo de orientação do coletor em relação ao norte geográfico

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Formulação do Problema .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>19</b>
1.3.1	Objetivo Geral .....	19
1.3.2	Objetivos Específicos .....	19
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1</b>	<b>Energia solar .....</b>	<b>20</b>
2.1.1	Energia solar no Brasil.....	20
<b>2.2</b>	<b>Aquecimento de água por energia solar térmica .....</b>	<b>23</b>
2.2.1	Circulação Natural ou Termossifão .....	26
2.2.2	Circulação Forçada ou Bombeada .....	27
<b>2.3</b>	<b>Principais componentes de um sistema de aquecimento solar (SAS).....</b>	<b>28</b>
2.3.1	Coletores solares .....	28
2.3.2	Reservatório térmico .....	30
<b>2.4</b>	<b>Noções de radiação e geometria solar .....</b>	<b>32</b>
2.4.1	Movimentos da Terra .....	32
2.4.2	Radiação solar .....	33
<b>2.5</b>	<b>Dimensionamento de um SAS .....</b>	<b>34</b>
<b>2.6</b>	<b>Viabilidade Econômica .....</b>	<b>35</b>
2.6.1	Sistemas de amortização .....	36
2.6.2	Taxa Mínima de Atratividade (TMA).....	36
2.6.3	Valor Presente Líquido (VPL) .....	37
2.6.4	Taxa Interna de Retorno (TIR) .....	37
2.6.5	Período de recuperação do Investimento ( <i>Payback</i> ) .....	38
<b>3</b>	<b>ASPECTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>39</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>43</b>
4.1.1	Resultados do dimensionamento .....	43
4.1.2	Análise econômica .....	43
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>
	<b>APÊNDICE A - Consumo dos pontos de utilização de água quente.....</b>	<b>61</b>
	<b>APÊNDICE B - Temperaturas e precipitações médias em Curitiba.....</b>	<b>61</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

### **1.1 Formulação do Problema**

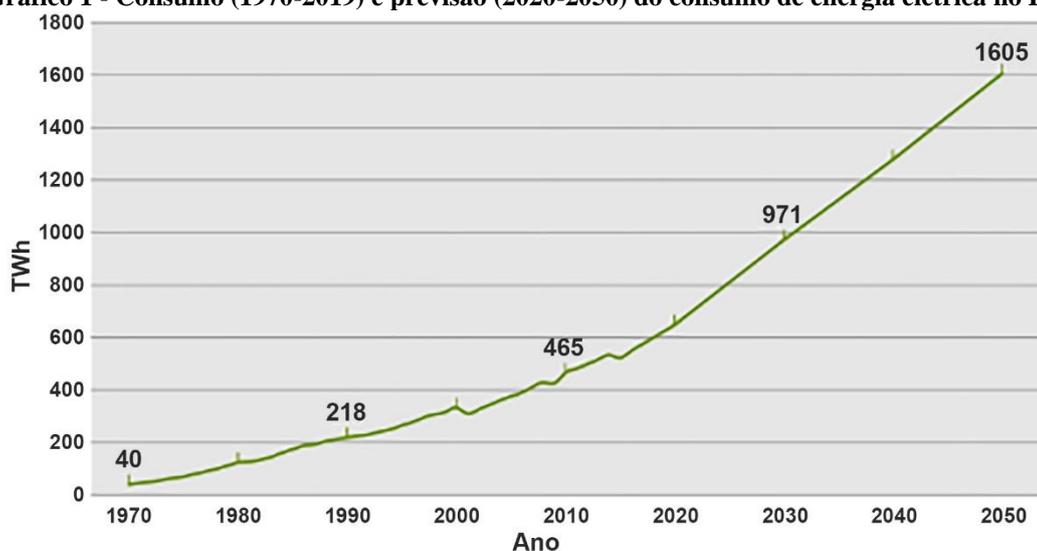
Devido ao desenvolvimento tecnológico, aumento populacional e demanda da sociedade proveniente de necessidades populares, um dos desafios de grande relevância encontrado na atualidade apresenta-se no abastecimento energético mundial, de modo que muitos países desenvolvidos buscam meios de racionalizar a admissão de energia, seja através de pesquisas que visam reduzir o consumo energético de equipamentos, melhorando a eficiência, ou pela busca do aumento da participação da parcela de fontes renováveis de energia em suas matrizes energéticas, com o menor impacto ambiental possível.

Quando se olha para o cenário da geração de energia elétrica no Brasil, há um grande destaque no uso de fontes renováveis no país, de modo que 84,8% de toda geração de energia elétrica nacional é proveniente de fontes renováveis, no entanto, a maior parte se concentra na forma hidráulica, com cerca de 65,2% (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2022).

Mediante esse cenário, para que o Brasil tenha segurança energética sem explorar fontes que degradem o meio ambiente, se torna relevante a busca de uma diversificação, aumentando o uso de fontes de energias complementares a esta, que sejam limpas, abundantes e de ampla aplicação.

No contexto atual do país, a expansão de hidrelétricas para suprir a crescente demanda energética, de cerca de 135 TWh apenas nos últimos dez anos (Gráfico 1), implicaria além da extrapolação de sua parcela na matriz energética, também em uma grande demanda de investimentos financeiros e severos impactos ambientais durante as instalações.

**Gráfico 1 - Consumo (1970-2019) e previsão (2020-2050) do consumo de energia elétrica no Brasil**



Fonte: Pereira et al. (2017)

A situação teve reconhecimento pelo governo, que começou o processo de mudança com o Plano Decenal de Expansão de Energia de 2023, que havia previsto certa redução da porcentagem das fontes hidráulicas e aumento das demais fontes de energias renováveis no âmbito nacional devido ao cenário vigente (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2014).

Uma das fontes de energia candidata a ser uma boa energia complementar, possuindo as características citadas, sendo sustentável e ainda pouco explorada na matriz brasileira é a energia solar, que pode ser utilizada na geração de energia elétrica ou convertida diretamente em energia térmica, no aquecimento de água por exemplo. Além disso, a incidência da radiação solar média no Brasil é em torno de 5,5 kWh/m<sup>2</sup>, considerada um valor elevado (INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR, 2017 apud APPEL, 2019).

De acordo com Labeee et al. (2010) (laboratório de eficiência energética em edificações), desde 2005 no Brasil, aproximadamente 22,2% do consumo energético no país provém de segmentos residenciais, sendo os três equipamentos que mais consomem energia, o chuveiro, a geladeira e o ar-condicionado respectivamente, ao considerar-se ainda que boa parcela da população não possui condições de ter ou usar um ar-condicionado, a participação e relevância do chuveiro e geladeira no consumo desse segmento se torna ainda mais relevante, bem como o estudo desses equipamentos.

Por meio da associação de coletores solares e um reservatório térmico, denominado de sistema de aquecimento solar, é possível converter a energia solar diretamente em térmica, que ao ser transferida para um fluido, pode prover água quente, que tem a possibilidade de ser armazenada e utilizada, seja em torneiras ou chuveiros residenciais, por exemplo.

Acerca desse tema, diversos estudos e trabalhos científicos em variados cenários foram realizados nos últimos anos. Geá et al. (2020) por exemplo, avaliam o uso do sistema de aquecimento solar (SAS) em substituição ao tradicional chuveiro elétrico em uma residência unifamiliar de classe média em Lagoa Santa-MG.

Mediante orçamento preliminar, levantaram os custos de materiais, serviços e componentes necessários, de forma complementar estimaram a demanda energética referente ao chuveiro e a economia gerada pelo SAS, sendo posteriormente calculado e analisado os indicadores de *payback* descontado e Taxa Interna de Retorno (TIR).

Já Rodrigues (2020) buscou desenvolver um método de análise de viabilidade de implementação de sistemas de aquecimento solar de água em edifícios residenciais verticais. Para isso, analisou diversos tipos de sistemas prediais de água quente e de aquecimento solar de água, desenvolvendo um método de sete etapas, as quais consistem fundamentalmente na identificação da localização, condições climáticas, características e população do edifício, no dimensionamento do sistema de aquecimento, levantamento dos custos envolvidos e análise econômica de *payback*.

Souza Júnior et al. (2018) estudam a viabilidade econômico-financeira do uso e aplicação da energia solar em organizações militares do exército brasileiro na cidade de Santa Maria-RS. Em sua metodologia, realizaram uma pesquisa exploratória e levantamento de dados necessários, seguido de busca por orçamentos e fornecedores que já disponibilizassem devido dimensionamento.

Em paralelo, levantaram os gastos com energia elétrica nas organizações em determinado período, para posterior cálculo e estudo dos indicadores de *payback* simples e descontado, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR), avaliando os resultados e eventuais benefícios.

Silva et al. (2022) averiguam a viabilidade de utilização de um sistema de aquecimento solar para banhos de trabalhadores em um canteiro de obras. Devido ao elevado consumo de energia elétrica nas despesas da obra, buscam em sua metodologia comparar o cenário até então atual com outros três cenários, o mercado livre de energia, o sistema de aquecedor solar com apoio a gás e um com apoio a resistência. Realizam por fim, um levantamento de custos referentes a implementação e operação para posterior análise econômica por *payback*.

No exterior o tema também é bastante abordado, a exemplo de Rajab et al. (2017) que apresentam uma proposta para substituir os aquecedores convencionais de água por aquecedores solares de uso doméstico na Líbia, buscando compará-los em termos de economia elétrica, custo de aquisição e manutenção e emissão de CO<sub>2</sub>.

Para isso realizam um estudo de caso com cinco mil casas em Benghazi em um período determinado de vinte anos. As principais etapas do processo realizado consistiram na seleção da região e seus parâmetros, seguido do carregamento de um perfil para uma casa típica e análise comparativa dos termos selecionados.

Outro exemplo é de Karki, Haapala e Fronk (2019) com um trabalho que visa fornecer suporte de decisão de design para fabricantes de pequeno e médio porte na realização de análise de viabilidade para a aplicação de sistemas de aquecimento solar com coletores planos em suas operações. O gráfico e método modificado  $\phi$ , *f-chart* para previsão da quantidade de energia coletada pelas placas é utilizado, sendo avaliado um modelo simplificado de custos do sistema com auxílio de softwares para cenários hipotéticos.

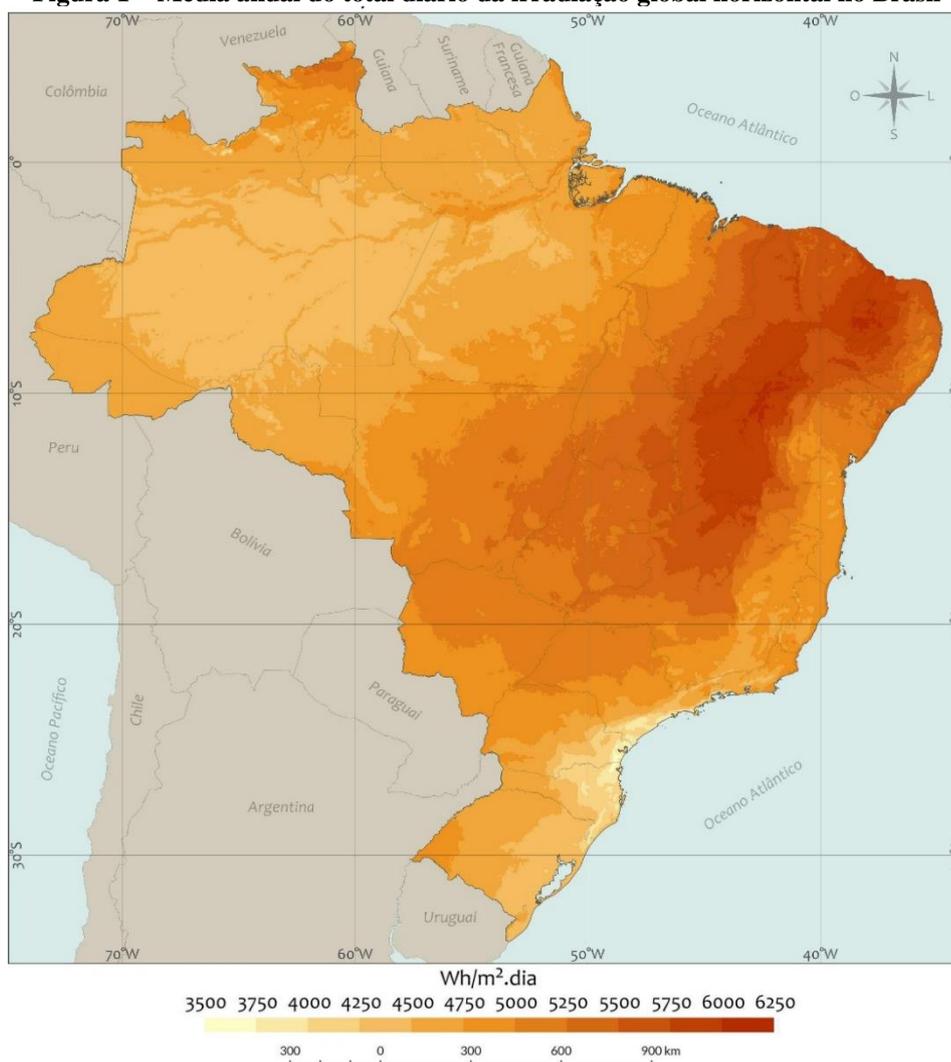
## 1.2 Justificativa

O tema apresentado se justifica por meio da busca de maior segurança energética no Brasil, evitando exploração de fontes que degradem o meio ambiente, assim como o potencial da utilização da energia solar para aquecimento de água no país, visando-a como fonte diversificada de baixo impacto ambiental.

Conforme mapas de irradiação encontrados no Atlas Brasileiro de Energia Solar, assim como ilustrado na Figura 1, o Brasil possui uma variação de irradiação solar global horizontal bastante atraente de valores entre 3500 e 6250 Wh/m<sup>2</sup>, que são bem acima dos encontrados em demais países europeus que fazem grande uso de energia solar, como a Alemanha, Espanha e França, com variações aproximadas entre 900 a 1250, 1200 a 1850 e 900 a 1650 Wh/m<sup>2</sup> respectivamente (MIYAZATO, 2012; PEREIRA et al., 2017).



**Figura 1 – Média anual do total diário da irradiação global horizontal no Brasil**



**Fonte: Pereira et al. (2017)**

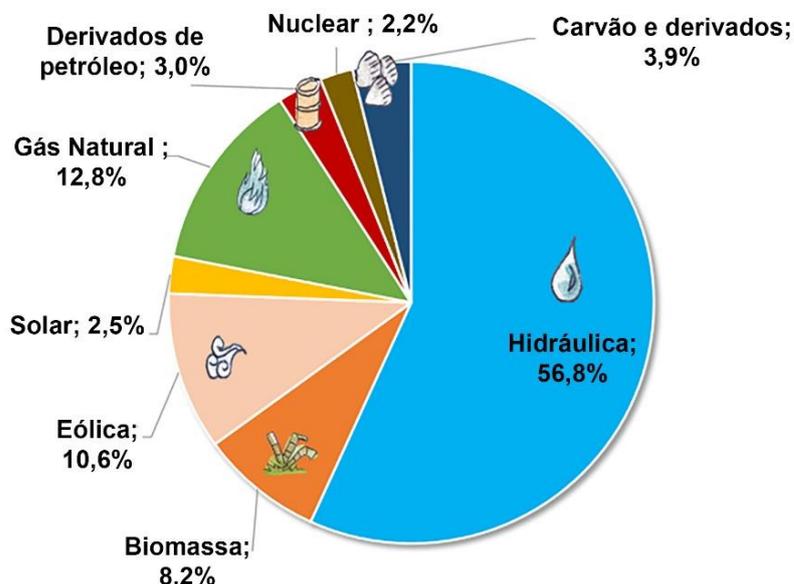
Quando comparado ao âmbito mundial em 2021, o Brasil com mais de 13,6 GW de potência operacional da fonte solar, se encontra em 13<sup>o</sup> no *ranking* de países com maior capacidade instalada de energia solar, o qual é liderado pela China (306 GW), seguido pelos Estados Unidos (93 GW), Japão (74 GW), Alemanha (58 GW) e Índia (49 GW) respectivamente (ABSOLAR, 2022).

Embora os resultados do país no *ranking* mundial sejam motivo de comemoração, ao levar em consideração que ainda apenas aproximadamente 2,5% da matriz energética brasileira é composta por fonte solar de energia (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2022), nota-se que há bastante a ser aproveitado acerca dessa fonte de energia renovável no Brasil.

Sabendo do potencial da energia solar no Brasil e analisando o gráfico da matriz energética brasileira em 2021 demonstrado no Gráfico 2, que apresenta as parcelas de fontes de energia e suas respectivas participações na matriz brasileira, é perceptível que a energia solar é

forte candidata para ser investida como fonte auxiliar à hidráulica, evitando a construção de novas hidrelétricas para suprir a demanda energética crescente no país.

**Gráfico 2 - Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil, ano base 2021**



Fonte: Adaptado de Ministério de Minas e Energia (2021, 2022)

No Quadro 1 encontram-se reunidos pela Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA), diversos benefícios e impactos positivos que o aumento da inserção do uso da energia solar no Brasil em substituição às hidrelétricas pode causar para algumas das diversas partes interessadas.

Destacam-se aqui alguns pontos de grande relevância para este trabalho, bem como para o país, em investimentos que podem ser aplicados em outros setores vitais ao bem-estar da sociedade e geração de empregos locais referente ao sistema de aquecimento solar (SAS); Para o ambiente, menor impacto ambiental, evitando alagamentos de áreas verdes e férteis, bem como redução da emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera (ABRAVA, 2008; MIYAZATO, 2012).

**Quadro 1 – Setores envolvidos e os benefícios e impactos positivos no uso de SAS**

Interessados	Benefícios e impactos positivos
Consumidor residencial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução na conta mensal de energia, em torno de 30 a 50%, mantendo-se o mesmo nível de conforto</li> </ul>
Setor produtivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução de custos operacionais</li> <li>• Aumento de eficiência e competitividade</li> <li>• Redução de impactos ambientais nas plantas industriais que estão atualmente em operação</li> </ul>
Concessionária de Energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite a criação de programas eficientes de Gerenciamento pelo Lado da Demanda – GLD, com atenuação e deslocamento do pico de demanda que ocorre normalmente entre o período das 17h às 21h</li> </ul>

Setor educacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualificação de professores e estudantes em eficiência energética, com ênfase ao aquecimento solar, de forma a disseminar conceitos e tecnologias importantes para o ambiente construído</li> </ul>
Profissionais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Participação em programas efetivos de qualificação e treinamento</li> <li>• Ampliação de postos de trabalho</li> </ul>
País	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimentos podem ser postergados ou utilizados em outros setores vitais para o bem-estar da sociedade</li> <li>• Geração de empregos locais, inerentes a fabricação e instalação de aquecedores solares</li> </ul>
Meio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evita-se o alagamento de áreas verdes e férteis necessárias à construção de usinas hidrelétricas</li> <li>• Redução da emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera</li> </ul>

**Fonte: Abrava (2008); Miyazato (2012)**

No contexto apresentado, a proposição deste trabalho é realizar uma revisão da literatura a respeito do tema, seguido de uma pesquisa exploratória, efetuada por meio de um estudo de caso, analisando a viabilidade econômica da implementação de um sistema de aquecimento solar com painéis planos fechados, voltado para um pensionato.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade econômica da implementação de um sistema de aquecimento solar com painéis solares planos fechados para um pensionato na cidade de Curitiba.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão de literatura quanto ao tema proposto, focando nos sistemas de aquecimento solar plano fechado e sua captação e armazenamento da energia;
- Efetuar o correto dimensionamento de um projeto para um estudo de caso, seguindo normas e recomendações da literatura;
- Levantar orçamentos para o projeto proposto;
- Averiguar a viabilidade econômica da implementação do projeto dimensionado.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Energia solar**

O Sol é uma estrela que pode ser considerada uma fonte de energia inesgotável quando comparada com demais fontes de energia no planeta. Tal energia, de acordo com a lei da irradiação para corpos de simetria esférica, é gerada através de reações nucleares que ocorrem em seu interior, sendo transmitida pelo espaço por meio de radiações eletromagnéticas, (VIAN et al., 2021).

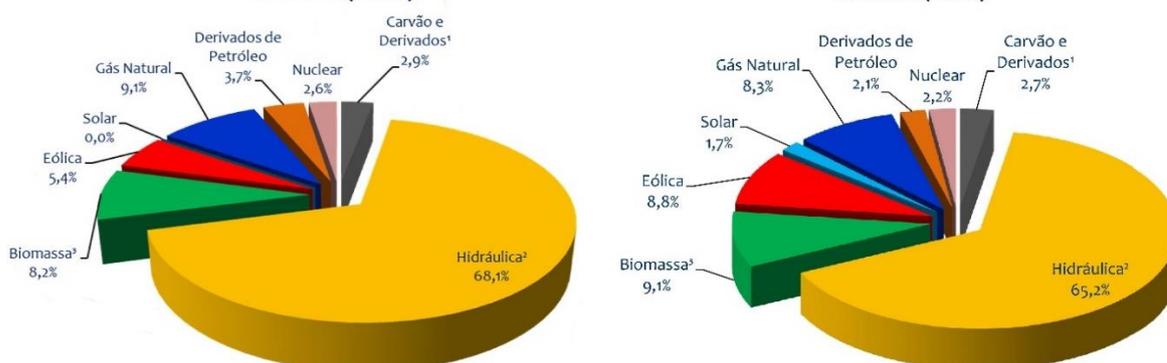
A grande maioria das formas de energia que conhecemos são de certo modo, formas indiretas da energia solar, dentre tais energias é possível citar as energias eólica, biomassa, combustíveis fósseis, hidráulica e dos oceanos. Além disso, a energia solar pode, mediante certos equipamentos e métodos, ser convertida e aproveitada diretamente na geração de energias térmica e elétrica, dos quais se destacam o termoelétrico e fotovoltaico respectivamente, (ANEEL, 2008).

Apesar de ser uma fonte de energia renovável, limpa e considerada inesgotável, o aproveitamento da energia solar é intermitente, dependendo diretamente dos raios solares recebidos pelo sol durante o dia, bem como do rendimento global associado a tecnologia utilizada (JR; REIS, 2016).

#### **2.1.1 Energia solar no Brasil**

Ao se analisar a geração de energia elétrica no Brasil é possível notar conforme ilustrado no Gráfico 3, que mais da metade de toda energia elétrica gerada se concentra na forma hidráulica. É inegável a importância do armazenamento da energia potencial proveniente das hidrelétricas no Brasil, contudo, é necessário a busca do aumento do uso de fontes de energias complementares a ela, que sejam limpas, distribuídas, abundantes e de ampla aplicação, (ARAÚJO DO NASCIMENTO, 2004). Entre as fontes de energia que possuem tais características têm-se a solar, que ainda é pouco explorada na matriz brasileira.

**Gráfico 3 – Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica com importação – 2016/2020  
BRASIL (2016)**



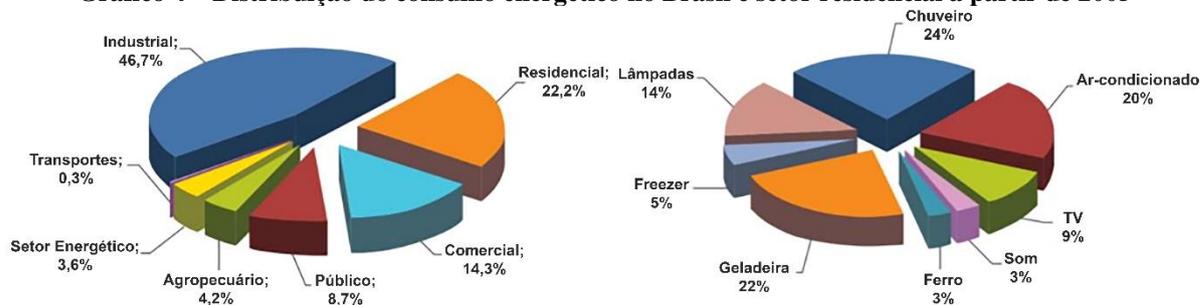
Fonte: Ministério de Minas e Energia (2017, 2021)

Apesar da energia solar ainda possuir pouca participação na matriz brasileira, é notável no Gráfico 3 que apenas entre os anos de 2016 e 2020, passou de menos de 0,1% para uma participação de 1,7% na matriz nacional, sendo um aumento significativo no período. Conforme Ministério de Minas e Energia (2021) a energia solar faz parte de 90,4% de toda micro e minigeração distribuídas no país, que teve em 2020, um aumento de 137% na geração distribuída, demonstrando potencial como fonte complementar às hidrelétricas.

Segundo Labeee et al. (2010), o setor residencial se encontra na segunda posição de demanda energética do país, seguido apenas do setor industrial. Dentro do âmbito das residências, é possível notar pelo Gráfico 4 que os três equipamentos que mais consomem energia são o chuveiro, a geladeira e o ar-condicionado respectivamente.

Além disso, ao levar em consideração que não são todas as residências possuem um equipamento de ar-condicionado, têm-se dessa forma um aumento da participação e relevância da geladeira e chuveiro no consumo residencial, o que torna o estudo em torno de tais equipamentos ainda mais significativo.

**Gráfico 4 – Distribuição do consumo energético no Brasil e setor residencial a partir de 2005**

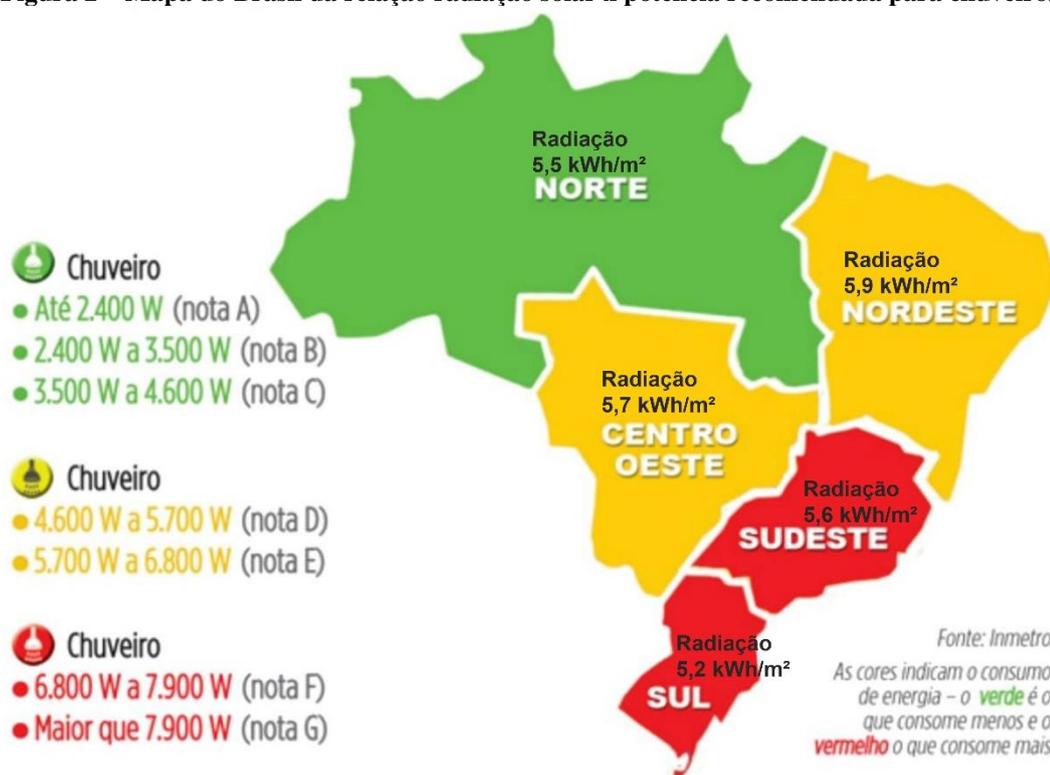


Fonte: Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (2017 apud APPEL, 2019)

Conforme pesquisa realizada pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e representada na Figura 2, além de análise feita por Appel (2019), ao se comparar as regiões do Brasil é possível notar uma grande variação da potência recomendada para

chuveiros de 2200 W a 5500 W, em contraste com uma baixa diferença na radiação solar de apenas 0,7 kWh/m<sup>2</sup>, o que demonstra grande potencial na utilização de aquecedores solares de água nas cidades das regiões Sul e Sudeste do país.

**Figura 2 – Mapa do Brasil da relação radiação solar x potência recomendada para chuveiros**

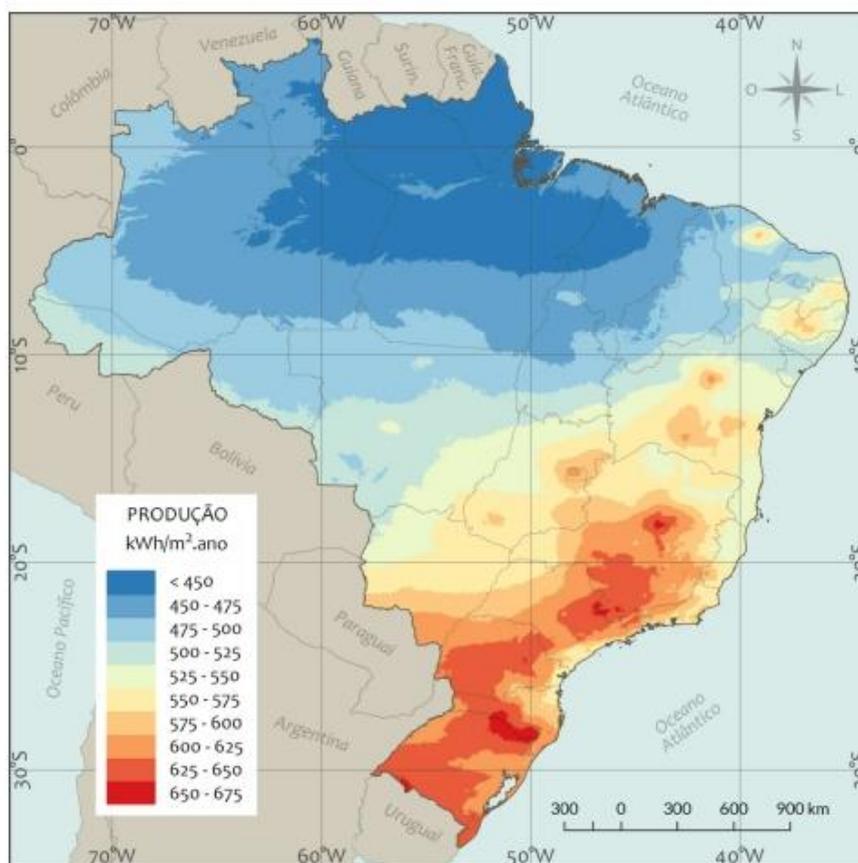


**Fonte: Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (2017 apud APPEL, 2019)**

Quando se analisa ainda a produção anual de energia por área de coletor solar instalada<sup>1</sup> (Figura 3), é possível notar que não necessariamente os maiores valores estão localizados nas regiões de maior incidência de irradiação solar, tal fato se deve à demanda energética, que é mais elevada em regiões de clima mais frio, o que faz com que o potencial de aquecimento dos sistemas solares possa ser melhor aproveitado, reforçando a ideia da utilização de SAS para aquecimento de água em regiões no Sul e Sudeste do Brasil (PEREIRA et al., 2017).

<sup>1</sup> Estudo realizado considerando-se um sistema de referência com: coletor de placa plana com cobertura de vidro; Reservatório = consumo diário = 300 L; Relação reservatório/área de placa = 75 L/m<sup>2</sup>; Temperatura de consumo = 40°C.

**Figura 3 – Potencial de produção anual de energia térmica por área de coletor solar instalada<sup>2</sup>**



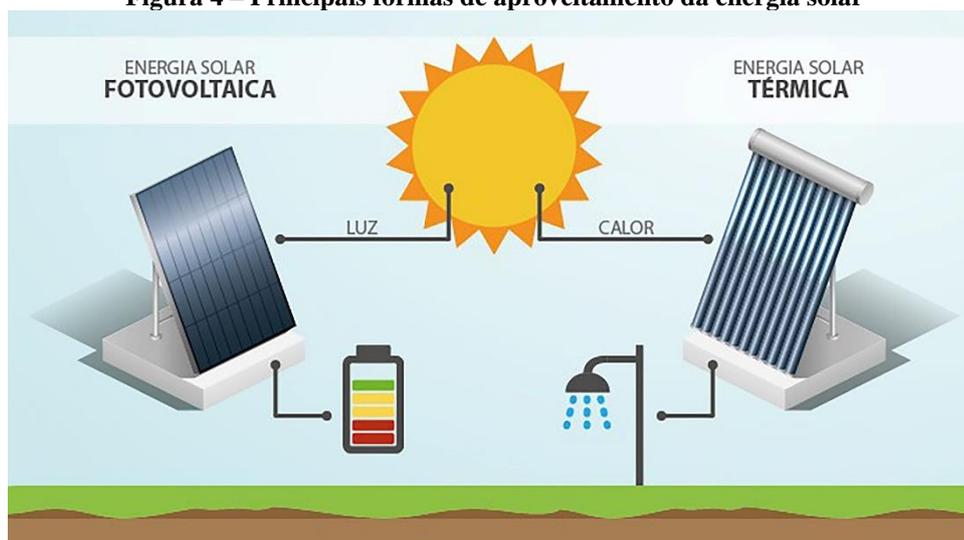
Fonte: Pereira et al. (2019)

## 2.2 Aquecimento de água por energia solar térmica

Quando se trata do aproveitamento da energia solar, há duas formas que podem ser consideradas as principais, conforme apresentado na Figura 4, sendo elas a partir da energia térmica ou luminosa (fotovoltaica). A energia solar fotovoltaica faz uso de painéis solares em um sistema complexo na captação e posterior conversão da luz do sol em eletricidade, enquanto a energia solar térmica aquece um fluido, comumente água, por meio da captação da energia do sol em placas solares ou tubos a vácuo (KOMECCO, 2021).

<sup>2</sup> Estudo realizado considerando-se um sistema de referência com: coletor de placa plana com cobertura de vidro; Reservatório = consumo diário = 300 L; Relação reservatório/área de placa = 75L/m²; Temperatura de consumo = 40°C.

**Figura 4 – Principais formas de aproveitamento da energia solar**



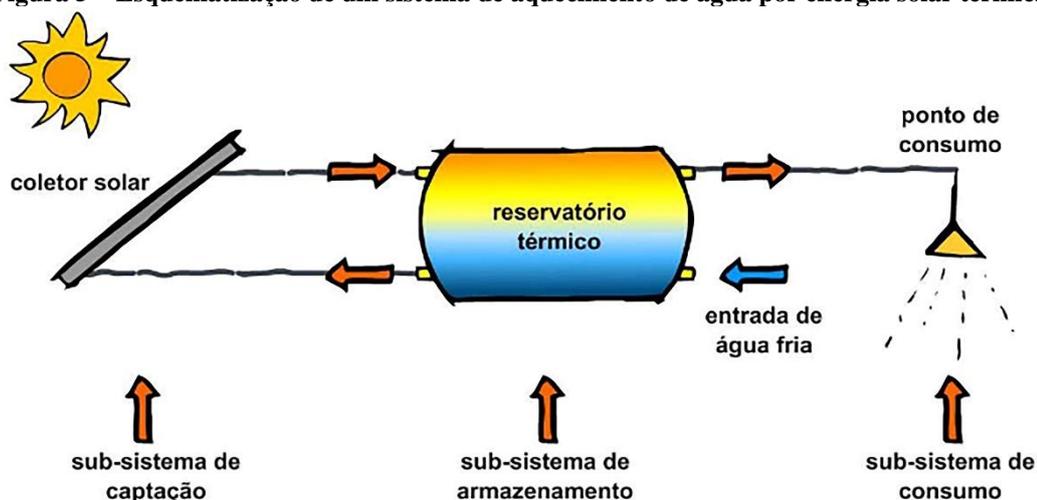
Fonte: Oca solar energia (2016)

Sistemas de aquecimento de água por energia solar térmica podem ser divididos em subsistemas para uma melhor compreensão, conforme demonstrado na Figura 5, e sendo abaixo descritos (REDE BRASIL, 2008):

- **Captação:** Responsável pela captação da energia solar e sua conversão em energia térmica, dentre seus componentes, compreende o fluido a ser aquecido (geralmente água), os coletores solares e toda tubulação entre eles, a bateria de coletores e o reservatório térmico, podendo ser também incluído a bomba hidráulica, presente em instalações com circulação forçada;
- **Acumulação:** Responsável em suma, pelo armazenamento da energia captada, composto principalmente pelo reservatório térmico e em muitos casos uma fonte complementar de energia como eletricidade, lenha ou gás, que possui a finalidade de garantir o fornecimento de água quente sanitária (AQS) durante períodos de baixa ou ausência de insolação, ou como um auxílio em eventual elevada demanda;
- **Consumo:** Também conhecido como circuito secundário da instalação, é responsável pela distribuição e consumo da AQS, compreende toda parte de distribuição hidráulica existente entre o reservatório térmico e os pontos de uso.



Figura 5 – Esquemática de um sistema de aquecimento de água por energia solar térmica



Fonte: Rede Brasil (2008)

No uso de modelos de aquecimento de água por energia solar, seu sistema pode ser ainda classificado como sistema direto ou indireto, de acordo com o fluido de trabalho a ser aquecido pelos coletores solares, se entram em contato com o fluido de consumo ou não, respectivamente (LIMA, 2003), bem como classificado quanto ao volume diário de água a ser aquecida, conforme mostrado no Quadro 2, podendo ser de circulação natural ou termossifão para volumes diários inferiores a mil e quinhentos litros ou de circulação forçada ou bombeada para valores superiores (REDE BRASIL, 2008).

Quadro 2 – Classificação de instalações de aquecimento de água conforme volume diário

Instalação	Volume diário	Tipo
Pequeno Porte	Vol. < 1.500 litros	Circulação Natural
Médio Porte	1.500 Vol. < 5.000 litros	Circulação Forçada
Grande Porte	Vol. > 5.000 litros	Circulação Forçada

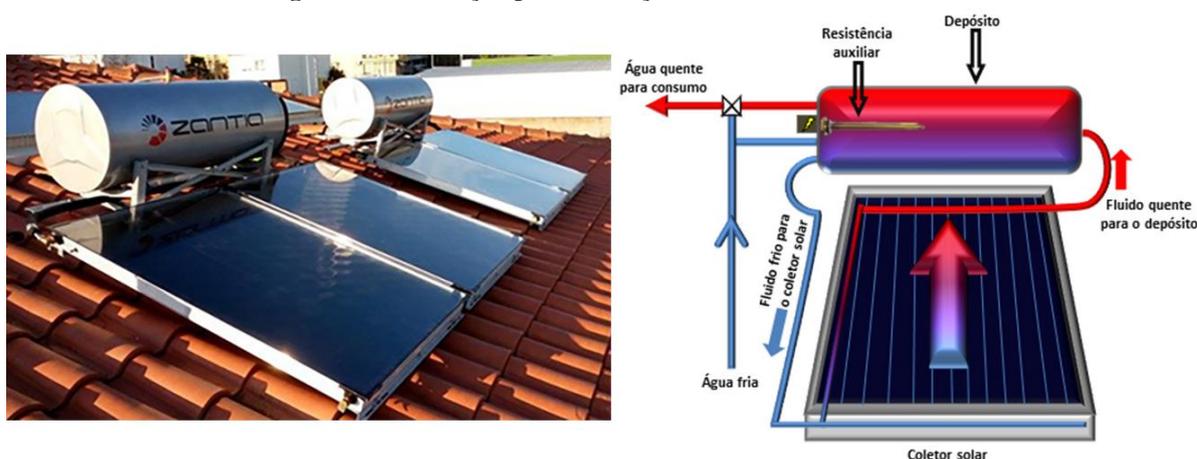
Fonte: Rede Brasil (2008)

Em regiões onde a temperatura ambiente pode atingir valores próximos a zero grau há risco de congelamento do fluido de trabalho nos coletores, o qual costuma-se ser água, por isso, em tais casos utiliza-se normalmente em sistemas indiretos uma mistura de água com anticongelante como fluido de trabalho, que fica isolado do sistema aberto ao qual armazena e fornece a água aquecida, ou faz-se uso de válvulas anticongelamento ou outros tipos de equipamentos para evitar determinado problema, seja para circulação natural ou forçada (EKOS BRASIL; VITAE CIVILIS, 2010; IS-ENERGY, [s.d.]).

### 2.2.1 Circulação Natural ou Termossifão

A circulação natural ou termossifão consiste em um modo geral, em sistemas acoplados ou compactos, assim como ilustrado na Figura 6, que se caracterizam pelo reservatório térmico localizado em um nível acima do coletor solar, e ambos formando uma única unidade. A circulação natural é, assim como cita Siqueira (2003) em seus estudos para ensaios experimentais, realizada por meio do diferencial de massa específica da água no decorrer do circuito, o qual decorre pela diferença de temperatura entre o reservatório e o coletor; Possuindo como vantagens um menor custo e tempo de instalação quando comparado à circulação forçada, além de não ocupar espaço dentro do edifício, visto que sua instalação se encontra no telhado.

**Figura 6 – Instalação por circulação natural ou termossifão**



Fonte: Adaptado de Confortec (2017); Reis (2018)

Como boa parte dos sistemas de aquecimento solar são residenciais, isso torna a instalação por circulação natural atraente, no entanto, possuem eficiência térmica diária reduzida, podendo, durante a noite, chegar a altas perdas térmicas de toda energia captada e armazenada no reservatório, conforme estudos realizados por (FAIMAN; HAZAN; LAUFER, 2001), que recomenda dispositivos na finalidade de reduzir tal situação. Uma listagem das principais vantagens e desvantagens encontradas nas instalações com circulação natural pode ser visualizada no Quadro 3.

**Quadro 3 – Vantagens e desvantagens de uma instalação com circulação natural ou termossifão**

Prós	Contras
Menor preço	Inestético
Facilidade de instalação	Baixo volume de AQS

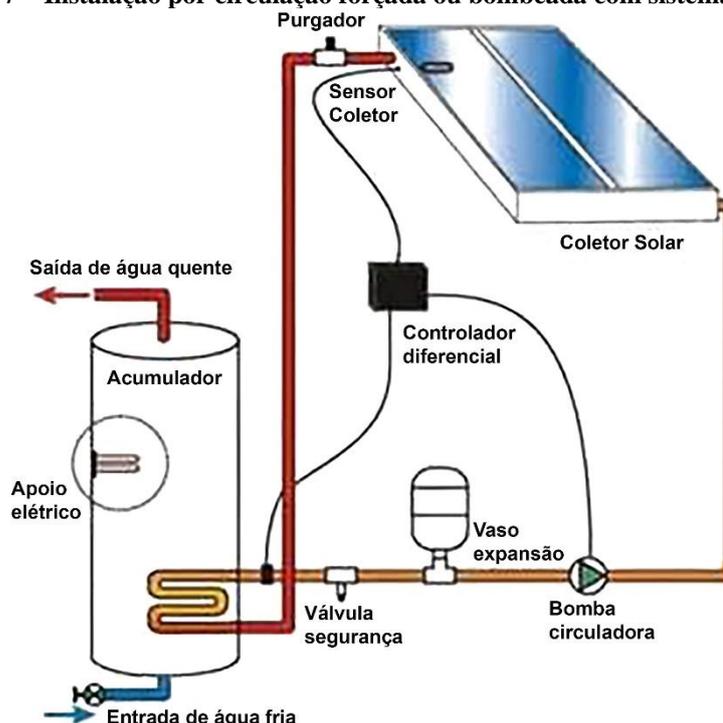
Fácil controle	Menor rendimento
----------------	------------------

Fonte: Fernandes (2014)

### 2.2.2 Circulação Forçada ou Bombeada

Instalações com circulação forçada ou bombeada são geralmente recomendadas para edificações que consomem grande volume diário de água aquecida, ou quando a instalação por termossifão não é possível devido a exigência de determinados parâmetros. A circulação forçada se assemelha bastante à natural, havendo maior diferença na localização do reservatório, que não fica junto ao painel solar, se encontrando comumente dentro da residência, além da necessidade de sensores para medição de temperaturas e de apresentar uma bomba hidráulica, que realiza o bombeamento do fluido, que melhora a eficiência e ajuda a evitar o congelamento do fluido nos coletores solares (EKOS BRASIL; VITAE CIVILIS, 2010), assim como representado na Figura 7.

Figura 7 – Instalação por circulação forçada ou bombeada com sistema indireto



Fonte: Projectista (s.d.)

Como já citado, as instalações por circulação forçada possuem um custo e complexidade maior para serem implementados quando comparado à circulação natural, no entanto, não possuem tanta perda de calor devido à baixas temperaturas do ambiente externo, e são mais adaptáveis em um eventual futuro aumento do sistema e capacidade, (COSTA, 2020).

De forma sintetizada, se encontra abaixo no Quadro 4 um resumo das vantagens e desvantagens de uma instalação com circulação forçada.

**Quadro 4 – Vantagens e desvantagens de uma instalação com circulação forçada ou bombeada**

<b>Prós</b>	<b>Contras</b>
Elevada capacidade de AQS	Maior necessidade de controle
Maior eficiência	Preço
Melhor integração com edifícios	Projeto mais exigente
Configurável	

**Fonte: Fernandes (2014)**

### 2.3 Principais componentes de um sistema de aquecimento solar (SAS)

Os sistemas de aquecimento solar de água possuem como principais componentes os coletores solares, reservatório térmico e fonte auxiliar de energia (MATOS, 2014).

#### 2.3.1 Coletores solares

Ao se analisar a geração de energia elétrica no Brasil é possível notar conforme ilustrado no De acordo com a ABNT (2009) (Associação Brasileira de Normas Técnicas), mais especificamente na norma brasileira (NBR) 15747-1:2009, é definido o coletor solar como o “dispositivo projetado para absorver a radiação solar e transferir a energia térmica produzida para um fluido que passa pelo equipamento”, podendo ser classificado em dois grupos, com e sem concentração, possuindo ainda cada grupo tipos variados, conforme Quadro 5.

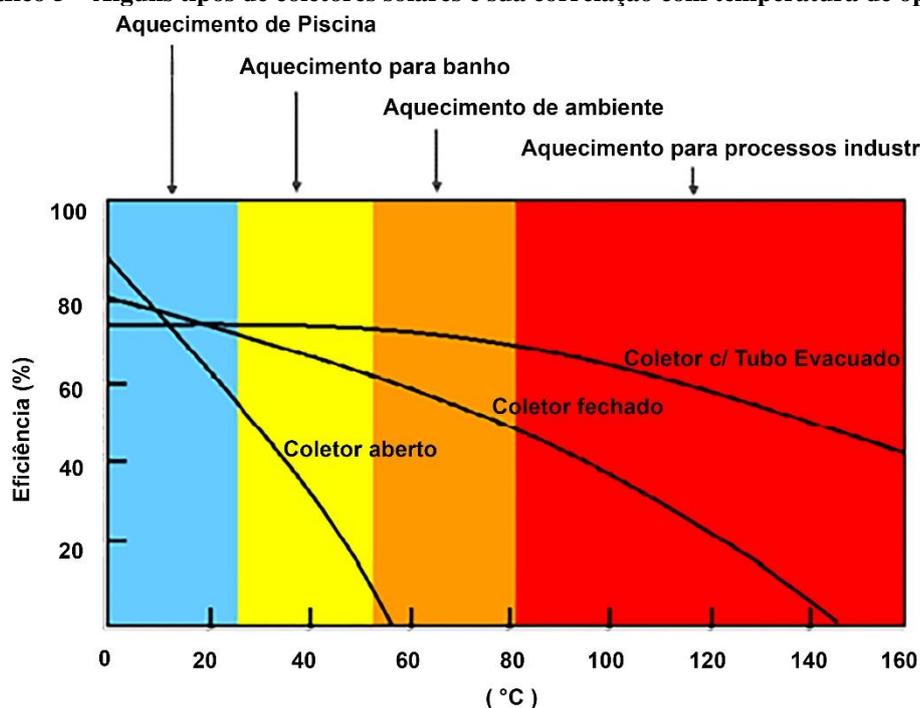
**Quadro 5 – Coletores solares, seus grupos e tipos**

<b>Grupo</b>	<b>Características gerais</b>	<b>Tipos</b>
Coletores solares sem concentração	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicados na energia solar térmica de baixa temperatura</li> <li>• O fluido não ultrapassa 70°C de temperatura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coletor solar plano aberto</li> <li>• Coletor solar plano fechado</li> <li>• Coletor com tubo evacuado</li> </ul>
Coletores solares com concentração	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de métodos de concentração da óptica, capazes de elevar a temperatura de fluido superior a 70°C</li> <li>• Aplicados na energia solar térmica de média e alta temperatura</li> <li>• Necessidade de um sistema de acompanhamento para conseguir com que o coletor esteja permanentemente apontado em direção ao Sol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentradores cilíndricos</li> <li>• Concentradores parabolóides</li> </ul>

**Fonte: Miyazato (2012; Procobre ([s.d.]**

Neste trabalho o foco se dá em torno de coletores solares planos fechados, e assim como diz Aita (2006) em seu estudo do desempenho de um sistema de aquecimento solar e gás, o tipo de coletor solar a ser escolhido está diretamente ligado a temperatura de operação desejada para determinada aplicação, assim como mostra o Gráfico 5, sendo no Brasil, de acordo com a Abrava (2008), o modelo de coletor plano fechado o mais utilizado (62%), seguido do coletor plano aberto (34%). Ao olhar para o mercado internacional, prepondera o uso dos tubos evacuados, seguido pelo coletor solar plano (MAUTHNER; WEISS; SPÖRK-DÜR, 2015).

**Gráfico 5 – Alguns tipos de coletores solares e sua correlação com temperatura de operação**



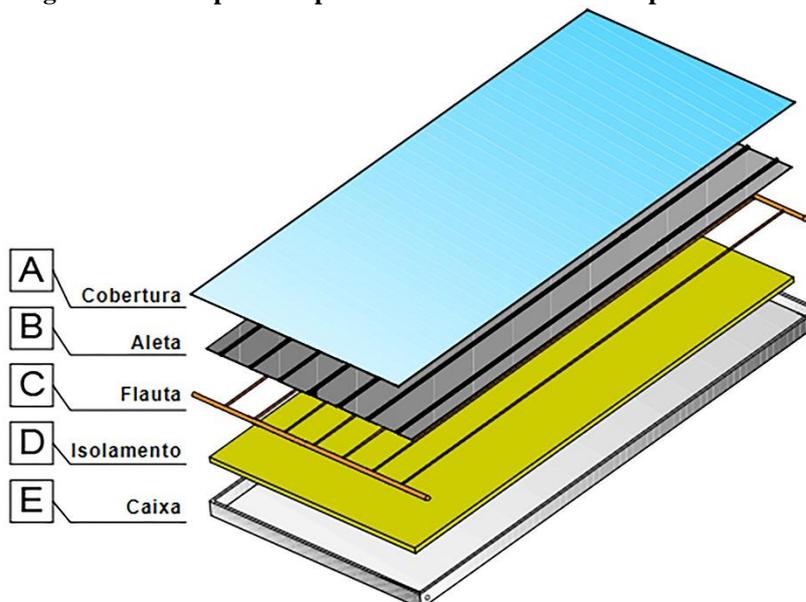
Fonte: Rede Brasil (2008)

Na Figura 8 é apresentando a vista explodida de um coletor solar plano fechado. Seu funcionamento inicia-se pela incidência de raios solares através da cobertura de vidro [A], de modo que devido a essa superfície, a radiação é em parte refletida, absorvida ou refratada. A maior parte da radiação acaba por incidir nas aletas [B] devido a refração, que esquentam o material transferindo calor da serpentina ou flauta [C] para a água que nela flui devido a convecção (BORGES, 2000).

A cobertura de vidro na parte superior reduz perdas de calor pela convecção natural com o ar, além de ser opaca para radiação infravermelha, fazendo com que haja um efeito estufa. Juntos, tais fatores favorecem para um reaproveitamento de parte das perdas por radiação que é, portanto, irradiada de volta. Na parte mais inferior da placa solar têm-se um material isolante

[D], que junto aos demais componentes ficam acoplados na caixa [E], de material também isolante para aumentar a eficiência do equipamento (BORGES, 2000).

**Figura 8 – Principais componentes de um coletor solar plano fechado**



Fonte: Adaptado de Abrava (2008)

### 2.3.2 Reservatório térmico

De acordo com a NBR 10185:2018, um reservatório térmico é um “recipiente para acumular a energia térmica na forma de água quente com opção de dispositivos elétricos incorporados para controlar a temperatura da água, que possui pontos específicos de entrada e saída para interligação com coletor solar” (ABNT, 2018). De modo que podem ser classificados de acordo com quatro características bastante relevantes, sendo elas seu posicionamento físico, pressão de trabalho, funcionamento e tipo de troca de calor, conforme o Quadro 6 (ABRAVA, 2008).

**Quadro 6 – Classificações de reservatórios térmicos**

Instalação	Volume diário
Posicionamento físico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Horizontal</li> <li>• Vertical</li> </ul>
Pressão de trabalho	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta pressão</li> <li>• Baixa pressão</li> </ul>
Funcionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desnível</li> <li>• Nível com caixa de água fria</li> </ul>
Troca de calor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Circuito direto (sem troca de calor)</li> <li>• Circuito indireto (com troca de calor)</li> </ul>

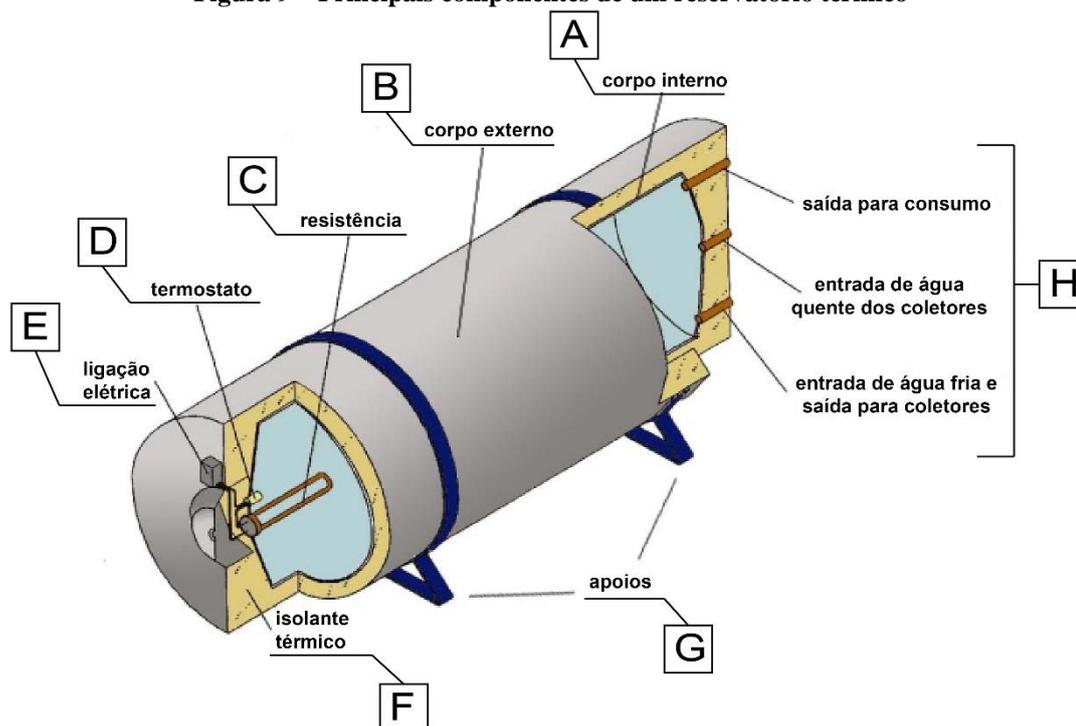
Fonte: Abrava (2008)

Assim como afirma a ASHRAE, (1996) (*American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers*), o reservatório é um equipamento de grande influência na confiabilidade, custo global e desempenho, que acaba, no entanto, sendo um dos elementos que tem seu projeto e seleção mais negligenciados nos sistemas de energia solar.

Os principais componentes que constituem um reservatório térmico podem ser visualizados na Figura 9, e são abaixo descritos, conforme ABRVA, (2008); MIYAZATO, (2012); REDE BRASIL, (2008).

- **Corpo interno [A]:** recomendado a fabricação em materiais resistentes à corrosão devido a estar em contato direto com a água, bem como projetado para suportar a pressão do sistema, possuindo adequada resistência mecânica;
- **Isolante térmico [F]:** comumente fabricado de poliuretano expandido, de condutividade térmica ao redor de 0,026 W/m.K, que além de oferecer boa resistência à passagem de calor, confere boa rigidez estrutural ao reservatório;
- **Corpo externo [B]:** protege o isolante térmico contra danos de transporte, instalação, umidade e de condições climáticas intensas, não sendo recomendado o uso de lonas plásticas na substituição de materiais como alumínio, aço pintado ou galvanizado;
- **Sistema auxiliar de aquecimento:** sua finalidade é garantir o fornecimento de água aquecida, seja por baixa insolação ou até mesmo uma alta demanda, podendo utilizar diversas fontes de energia, mas sendo a mais utilizada a elétrica. No sistema auxiliar de aquecimento elétrico são encontrados no interior do reservatório térmico, resistências [C], que ficam diretamente em contato com a água armazenada; A ativação das resistências e consequentemente aquecimento da água pode ser realizado por um termostato [D] de forma automática, ou manualmente através da ligação elétrica [E];
- **Tubulações de alimentação e descarga [H]:** deve possuir boa resistência à corrosão e boa condutividade térmica, suportando a água em sua máxima pressão e temperatura presente no SAS, transportando o fluido sem vazamentos, degradação ou deformação;
- **Apoios para fixação e instalação [G]:** elemento que tem como objetivo fornecer sustentação e suporte na instalação do reservatório térmico.

Figura 9 – Principais componentes de um reservatório térmico



Fonte: Adaptado de Água Quente (s.d.)

## 2.4 Noções de radiação e geometria solar

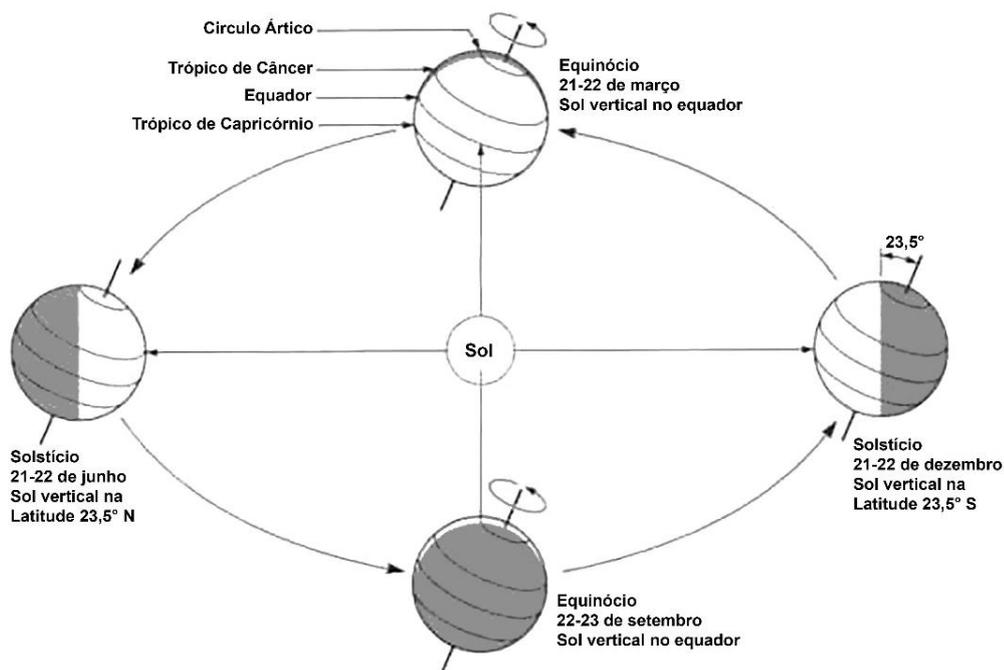
### 2.4.1 Movimentos da Terra

Dentre os principais movimentos da Terra estão a rotação e translação, os quais afetam diretamente na captação de radiação do Sol pelo planeta. A rotação refere-se movimento de giro que a Terra faz em torno de seu próprio eixo, responsável pelos efeitos de dia e noite.

A translação é o movimento elíptico que a Terra faz em torno do Sol, no denominado plano elíptico (Figura 10), ela é responsável pelas estações do ano e fenômenos como os solstícios e equinócios, devido a inclinação aproximada de  $23^{\circ}45''$  do eixo da Terra em relação ao plano elíptico.



**Figura 10 – Plano elíptico, movimentos de rotação e translação**

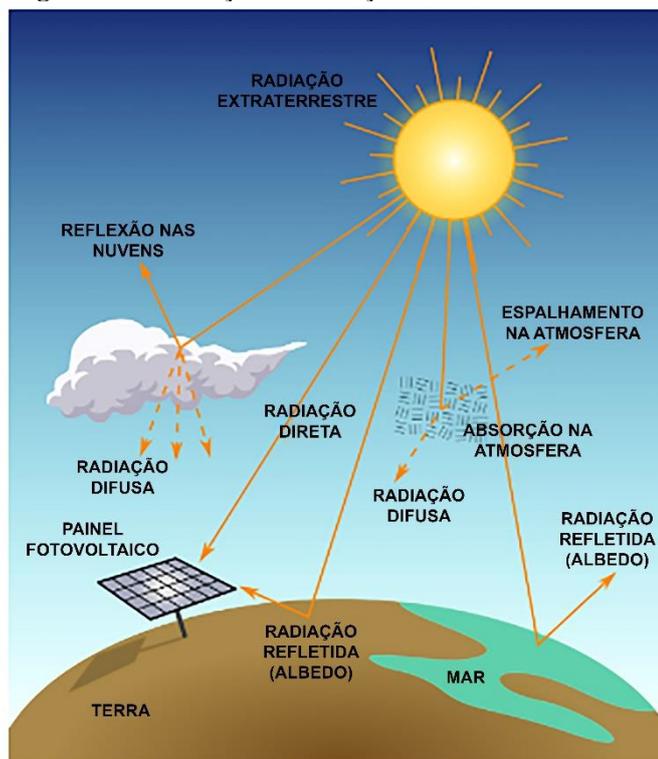


Fonte: Grimm (1999)

#### 2.4.2 Radiação solar

No estudo da radiação solar em determinado local é preciso primeiramente se ter conhecimento de que não é possível aproveitar em totalidade a radiação emitida pelo Sol à Terra, de modo que parte dessa energia sofre reflexão e absorção pela atmosfera e nuvens, conforme mostrado na Figura 11, havendo além disso, e também possível de ser visualizado na Figura 11, interferências no trajeto após sua entrada na atmosfera que as dividem em duas classificações, radiação solar direta e difusa, além de uma terceira que se refere a componente refletida pelo ambiente, denominada albedo (SILVA; CHAVES; LIMA, 2009).

**Figura 11 – Interação da radiação solar com a atmosfera**



Fonte: Tiepolo et al. (2017)

## 2.5 Dimensionamento de um SAS

De acordo com a NBR 11569, o volume de consumo de água quente em litros pode ser calculado a partir da equação 1, na qual  $Q_{pu}$  é a vazão de utilização do aparelho [L/min] e  $t_u$  é o tempo médio de utilização diário do aparelho [min].

$$V_{\text{consumo}} = \sum (Q_{pu} \cdot t_u \cdot \text{frequência de uso}) \quad (1)$$

Para o cálculo do volume do sistema de armazenamento [L], a norma cita a equação 2, sendo  $T_{\text{armazenamento}}$  e  $T_{\text{ambiente}}$  as temperaturas de armazenamento [°C] e ambiente média anual do local [°C], e  $T_{\text{consumo}}$  a temperatura de consumo de utilização [°C], a qual é recomendada pela ABNT que seja adotada como 40°C em uso de duchas e lavabo.

$$V_{\text{armazenamento}} = \frac{V_{\text{consumo}} \cdot (T_{\text{consumo}} - T_{\text{ambiente}})}{(T_{\text{armazenamento}} - T_{\text{ambiente}})} \quad (2)$$

Ao buscar a demanda de energia útil mensal [kWh/mês], a equação 3 deve ser utilizada, onde das novas variáveis,  $\rho$  é a massa específica da água [kg/L] e  $c_p$  é o calor específico da água [kJ/kg.°C], sendo aqui considerado um mês padrão de 30 dias.

$$E_{\text{útil}} = \frac{V_{\text{armazenamento}} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{\text{armazenamento}} - T_{\text{ambiente}})}{3600} \cdot 30 \quad (3)$$

Por fim, a área coletora [m<sup>2</sup>] pode ser obtida conforme equação 4:

$$A_{\text{coletora}} = \frac{(E_{\text{útil}} - E_{\text{perdas}}) \cdot FC_{\text{instal}} \cdot 4,89}{PMEE \cdot I_G} \quad (4)$$

Onde,

- **E<sub>perdas</sub> [kWh/mês]:** representa o somatório das perdas térmicas nos circuitos, podendo segundo a norma, ser considerada como 15% da demanda de energia útil;
- **PMEE [kWh/mês.m<sup>2</sup>]:** é a Produção Média Mensal de Energia específica do coletor solar, podendo ser encontrada nas especificações do coletor ou através da Tabela de Eficiência Energética do INMETRO;
- **I<sub>G</sub> [kWh/m<sup>2</sup>.dia]:** é o valor da irradiação global média anual diária, de acordo com o local de instalação definido.

O  $FC_{\text{instal}}$  por sua vez, é um fator de correção adimensional para inclinação e orientação do coletor solar, o qual com o auxílio dos ângulos de inclinação ( $\beta$  [°]), inclinação ótima ( $\beta_{\text{ótimo}}$  [°]) e de orientação dos coletores ( $\gamma$  [°]), pode ser calculado por meio da equação 5:

$$FC_{\text{instal}} = \frac{1}{1 - [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{\text{ótimo}})^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot \gamma^2]} \quad (5)$$

A norma sugere para a inclinação ótima, utilizar a Latitude acrescentado de 10°. Por fim, o consumo mensal de 30 dias para o cenário proposto pode ser calculado pela equação 6, de modo a ser utilizado na construção do fluxo de caixa e posterior análise econômica.

$$EEL = \text{frequência de uso} \cdot \frac{t_u}{60} \cdot P \cdot 30 \cdot \text{tarifa} \quad (6)$$

## 2.6 Viabilidade Econômica

Para se realizar um investimento, não é obrigatório que se tenha em mãos todo o dinheiro necessário para efetuar a compra ou iniciar o negócio, é possível solicitar empréstimos, sejam eles totais ou parciais com relação ao capital requerido; No entanto, deve-se ter em mente que um projeto pode ser mais facilmente inviabilizado quando um empréstimo é aderido,

excetuando-se casos pontuais onde pode haver incentivos governamentais, tornando-os mais atrativos (BODIE, 2014).

Taxa Mínima de Atratividade (TMA), Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback*, os quais serão melhores descritos a seguir, são algumas das consideradas mais importantes ferramentas de análise de investimento, sendo na análise deste trabalho utilizados (ASSAF NETO; LIMA, 2014; GROPELLI; NIKBAKHT, 2010; EICK, 2010).

As Ferramentas de análise de investimento possibilitam uma maior assertividade nas tomadas de decisão em empreendimentos, avaliando o comportamento do dinheiro ao longo do tempo e comparando-o com outros possíveis investimentos no mercado, de modo a avaliar riscos e o custo de oportunidade (SVIECH, 2013).

#### 2.6.1 Sistemas de amortização

Quando o assunto é financiamento, há dois sistemas de amortização que são bastante conhecidos na realidade brasileira, a PRICE (Sistema Francês de Amortização) e SAC (Sistema de Amortização Constante), que são cálculos que determinam a forma que o empréstimo será amortizado, ou seja, pago (SANDRINI, 2016).

Ambos os sistemas visam redução do saldo devedor por meio de parcelas de pagamento, no entanto, se diferenciam na forma da amortização, sendo na SAC as prestações iniciais mais altas e conforme progressão dos pagamentos, as parcelas vão caindo, pois a amortização mensal é fixa, havendo redução progressiva dos juros (SANDRINI, 2016).

Já na PRICE as parcelas são fixas, o que se torna atrativo para muitas pessoas que não podem dispor de parcelas elevadas nas contas familiares, além da previsibilidade dos pagamentos, que serão sempre de mesmo valor todos os meses (SANDRINI, 2016).

#### 2.6.2 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

Conforme menciona Galesne (1999), a TMA pode ser definida como uma taxa imposta pela liderança da empresa, representando o menor retorno aceitável para empreendimentos, considerando os riscos envolvidos e demais oportunidades no mercado financeiro, de modo que o investimento deve ter rentabilidade maior ou equivalente à TMA para ser aceito.

### 2.6.3 Valor Presente Líquido (VPL)

A ideia do VPL é realizar estimativas do lucro futuro de um investimento e converter tal valor para unidades atuais, possibilitando ao investidor ter maiores informações para sua tomada de decisão. Um projeto tem mais chances de ser aceito quando o VPL é maior que zero, e é automaticamente rejeitado quando traz valores iguais ou inferiores à zero, representando um investimento que geraria um nenhum lucro, ou prejuízo (PEDRAZZI; VIEIRA, 2009; ZANATA, 2012).

O VPL é calculado pela fórmula abaixo:

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1 + TMA)^j} - FC_0 \quad (7)$$

Onde,

- **VPL:** Valor Presente Líquido
- **N:** Número de períodos
- **FC<sub>0</sub>:** Fluxo de caixa no período 0, ou seja, caixa inicial
- **FC<sub>j</sub>:** Fluxo de caixa no período j
- **J:** Período de tempo
- **TMA:** Taxa Mínima de Atratividade

### 2.6.4 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR é definida pela Suno Reserch (2018) como sendo “um indicador que quando aplicado ao fluxo de caixa, torna os valores de retorno iguais às despesas trazidas ao valor presente.”. Assim como o VPL, um projeto é promissor quando a TIR é maior que zero, e é automaticamente rejeitado quando retorna valores iguais ou inferiores à zero, o qual representa um empreendimento sem lucro, ou com prejuízo. Sua equação é definida por:

$$VPL = 0 = \text{Investimento} + \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1 + TIR)^j} \quad (8)$$

### 2.6.5 Período de recuperação do Investimento (*Payback*)

O *Payback* representa conforme Souza e Clemente (2008), o tempo necessário para que determinado investimento gere dinheiro o suficiente para recuperar o capital inicialmente investido, podendo ser calculado de forma simples ou descontada. O *Payback* descontado é mais complexo de ser calculado, porém, mais confiável, pois considera o valor do dinheiro no tempo, sendo calculado pela fórmula abaixo, sendo  $FC_k$  o Fluxo de Caixa descapitalizado no período  $k$ .

$$\text{Payback} = \min\{j\} \text{ tal que } \left\{ \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1 + TMA)^j} \geq FC_0 \text{ e } FC_k > 0 \text{ para } (j + 1) \leq k \leq n \right\} \quad (9)$$

### 3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

A metodologia utilizada inicia-se por meio de uma pesquisa bibliográfica acerca do assunto, revisão da literatura a respeito do tema e pesquisa exploratória, realizada por meio de um estudo de caso. Foi utilizado no processamento de todos os resultados, o Software Microsoft Excel, fazendo uso das devidas normas para o cálculo correto dos indicadores.

De acordo com Gil (2019), a pesquisa bibliográfica é baseada em material já publicado. Sua principal vantagem é o fato de permitir ao pesquisador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia alcançar diretamente.

Para Markoni e Lakatos (2017), a revisão de literatura abrange a bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudo, desde publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisa, monografias, teses, artigos científicos impressos ou eletrônicos, material cartográfico e até meios de comunicação oral, programas de rádio, gravações, audiovisuais, filmes e programas de televisão. Sua finalidade é colocar o pesquisador em contato direto com tudo o que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto.

Já o estudo de caso, envolve o estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetivos de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento. É mais usado na construção de hipóteses e reformulação de problema (ARRUDA FILHO, 2015).

Com o tema estudado e aprofundado, efetuou-se a coleta e definição dos dados necessários, bem como estabelecimento de hipóteses e simplificações cabíveis para o cenário estipulado. Nesse trabalho o imóvel a ser considerado para a implementação do SAS é baseado em um pensionato real localizado em Curitiba-PR, de coordenada aproximada 25°26'31.1"S 49°16'21.7"O.

A residência já possui tubulação para água quente instalada e o sistema é de funcionamento por circulação natural, com coletores solares sem concentração e do tipo plano fechado, o que está de acordo com o recomendado pela literatura. Na Tabela 1 encontram-se em resumo os dados de entrada coletados para realização de todos os cálculos referente ao dimensionamento.

**Tabela 1 – Dados de entrada referente ao dimensionamento**

**(continua)**

<b>Dimensão</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Vazão de utilização	$Q_{pu}$	6	L/min
Tempo médio de utilização	$t_u$	10	min
Frequência de uso	-	15	banhos/dia
Temperatura de consumo	$T_{consumo}$	40	°C

**Tabela 1 – Dados de entrada referente ao dimensionamento****(conclusão)**

<b>Dimensão</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Temperatura ambiente	$T_{\text{ambiente}}$	17,2	°C
Temperatura de armazenamento	$T_{\text{armazenamento}}$	50	°C
Massa específica da água	$\rho$	0,998	Kg/L
Calor específico da água	$c_p$	4,186	kJ/kg.°C
Produção média mensal de energia específica	PMEE	79,90	kWh/mês.m <sup>2</sup>
Irradiação global média anual diária	$I_G$	4,40	kWh/m <sup>2</sup> .dia
Inclinação do coletor	$\beta$	21	°
Orientação do coletor	$\gamma$	0	°
Potência do chuveiro	P	7	kW
Tarifa elétrica convencional	-	0,728	R\$/kWh

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Todos os dados seguem recomendações das NBR 11569 e NBR 7198, sendo a PMEE utilizada conforme valores da INMETRO para o Coletor Solar Inox Max Alumínio 2,0 m<sup>2</sup> da marca Soletrol como base, de acordo com estudos de mercado. A tarifa elétrica (com impostos) utilizada foi obtida por meio da COPEL, disponibilizada em seu site oficial.

A temperatura ambiente considerada é a média anual da cidade de Curitiba (valores mensais em apêndice), a orientação dos coletores voltada ao Norte geográfico e sua inclinação de 21°, a qual confere a maior irradiação solar diária média anual, conforme Tabela 2.

**Tabela 2 – Irradiação solar diária média mensal e anual em Curitiba**

<b>Ângulo</b>	<b>Inclinação</b>	<b>Irradiação solar média mensal [kWh/m<sup>2</sup>.dia]</b>												
		<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Média</b>
Plano Horizontal	0° N	5,34	5,15	4,50	3,79	3,06	2,75	2,90	3,85	3,84	4,41	5,26	5,56	4,20
Ângulo igual a latitude	25° N	4,83	4,93	4,65	4,33	3,83	3,61	3,72	4,63	4,10	4,31	4,83	4,94	4,39
Maior média anual	21° N	4,95	5,00	4,67	4,29	3,74	3,50	3,62	4,55	4,09	4,37	4,94	5,08	4,40
Maior mínimo mensal	43° N	4,13	4,38	4,38	4,36	4,05	3,91	3,99	4,79	3,95	3,91	4,17	4,17	4,18

**Fonte: Cresesb (2018)**

Em seguida foi efetuado o dimensionamento do sistema conforme equações 1, 2, 3, 4, 5 e 6, para em sequência ser realizado um levantamento médio de custos para os equipamentos que se adequem aos cálculos efetuados anteriormente, além de serviços necessários para implementação do sistema de aquecimento, de acordo com estudo de preços de mercado.

Com os equipamentos e serviços precificados em uma média de valores, é dado início na análise da viabilidade econômica para aquisição do sistema de aquecimento, ou seja, da realização do investimento proposto. No Quadro 7 encontra-se em resumo os dados de entrada para os cálculos referente à análise econômica.



**Quadro 7 – Dados de entrada referente à análise de viabilidade econômica**

<b>Dimensão</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Taxa Mínima de Atratividade	TMA	13,41	% a.a.
Reajuste anual	-	4,00	% a.a.
Período de planejamento	n	20	anos
Manutenções	-	2.(0,5 % do valor inicial do investimento)	R\$/ano
Investimento inicial	FC <sub>0</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• à vista: 18.893,34</li> <li>• em até 10x: 20.992,60</li> </ul>	R\$
Financiamento	-	variável	% do FC <sub>0</sub>
Juros	-	variável	%
Prestações	-	variável	-

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Para estimar o consumo mensal da residência em aquecimento de água nos banhos é considerado conforme sugere a Figura 2, um chuveiro elétrico de potência de 7 kW, condizente com valores encontrados nas regiões sul e sudeste

Como TMA (Taxa Mínima de Atratividade), foi proposto a taxa do Tesouro Prefixado 2029, de 13,41 % a.a. (TESOURO DIRETO, 2023). É um investimento ofertado pelo Tesouro Direto, que no período de realização desse trabalho (fevereiro de 2023), se encontra bastante atraente devido aos altos índices de inflação, além de ser um dos investimentos considerados mais seguros, sendo coberto também pelo Fundo Garantidor de Créditos (FGC).

Segundo os fabricantes contatados, os sistemas de aquecimento solar possuem vida útil na média de 20 a 30 anos, portanto, considerou-se aqui para a análise financeira um período de planejamento de 20 anos, ou seja, o cenário menos favorável de vida útil do sistema.

Devido ao elevado capital inicial necessário para realização do projeto, é neste trabalho considerado 4 cenários para análise econômica da implementação do sistema de aquecimento solar, conforme Tabela 3, levando em conta casos em que o usuário efetuará um financiamento para realização de tal investimento ou pagaria em 10x sem juros direto com o fornecedor (cenário 2).

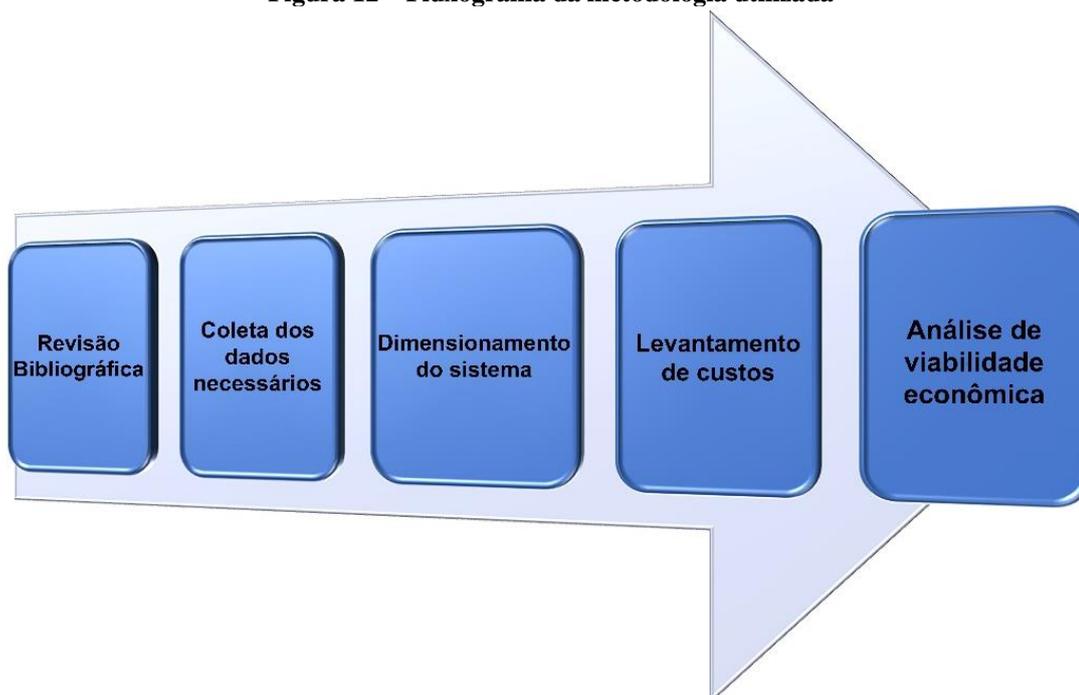
**Tabela 3 – Cenários de aquisição do capital inicial**

<b>Cenário</b>	<b>Sistema</b>	<b>% financiado</b>	<b>Prestações</b>	<b>Valor Parcela</b>	<b>juros</b>
1	Capital próprio	0 %	1	R\$ 18.893,34	0 % a.a.
2	Capital próprio	0 %	10	R\$ 2.099,26	0 % a.a.
3	PRICE	50 %	60	R\$ 241,80	20 % a.a.
4	PRICE	100 %	60	R\$ 483,59	20 % a.a.

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Para os financiamentos, foi simulado um pagamento do empréstimo em 60 meses, ou seja, 5 anos, sendo a taxa baseada em simulações bancárias pela CAIXA (2023). A opção de financiamento optada foi a tabela PRICE, o qual fornece para o usuário parcelas de valores fixos ao longo de todo processo.

Por fim, fluxos de caixa foram construídos como base para as análises de viabilidade, que compreendem o cálculo, estudo e comparação de indicadores de engenharia econômica. Um fluxograma da metodologia utilizada pode ser encontrado na Figura 12 a seguir.

**Figura 12 – Fluxograma da metodologia utilizada**

**Fonte: Autoria própria (2023)**

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1.1 Resultados do dimensionamento

No cálculo do volume de armazenamento foi obtido um valor de 625,61 L, no entanto, segundo NBR 15569 o aconselhável é adotar um reservatório com pelo menos 75% do dimensionamento do volume de consumo, portanto, é recomendado que o tanque a ser adquirido deva possuir ao menos 675 L, mesmo que o cálculo anterior tenha sido distinto. Uma tabela com os resultados do dimensionamento sumarizados pode ser visualizado na Tabela 4.

**Tabela 4 – Resultados do dimensionamento**

<b>Dimensão</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Volume de consumo	$V_{\text{consumo}}$	900	L
Volume de armazenamento	$V_{\text{armazenamento}}$	675	L
Energia útil	$E_{\text{útil}}$	913,51	kWh/mês
Perdas de energia	$E_{\text{perdas}}$	137,03	kWh/mês
Fator de correção	$FC_{\text{instal}}$	1,03	-
Área coletora	$A_{\text{coletora}}$	15,02	m <sup>2</sup>
Custo Energia Elétrica	EEL	382,20	R\$/mês

**Fonte: Autoria própria (2023)**

O tanque nesse estudo de caso é adotado como de 800 L, pois atende as normas e é de fácil aquisição no mercado, sendo considerado ainda conforme pesquisa de mercado o R.T INOX HZ. NIVEL SUPER MAX 800L D. 0,8 M da marca Soletrol, apresentado na Tabela 5.

A determinação da área útil conforme proposto pela norma, resultou em um valor de 14,99 m<sup>2</sup> para o Coletor Solar Inox Max Alumínio 2,0m<sup>2</sup>, representando 8 placas coletoras de 2,0 m<sup>2</sup>, que juntas somam 16 m<sup>2</sup>, atendendo o cálculo do dimensionamento.

**Tabela 5 – Equipamentos selecionados**

<b>Equipamento</b>	<b>Descrição</b>	<b>Dimensão</b>	<b>Quantidade</b>
Coletor solar	Coletor Solar Inox Max Alumínio 2,0m <sup>2</sup>	2,0 m <sup>2</sup>	8
Reservatório térmico	R.T INOX HZ. NIVEL SUPER MAX 800L D. 0,8 M	800 L	1

**Fonte: Autoria própria (2023)**

### 4.1.2 Análise econômica

A Tabela 6 apresenta os valores estimados para a implementação do sistema de aquecimento solar, conforme orçamentos realizados entre janeiro e fevereiro de 2023, atendendo aos requisitos do dimensionamento realizado conforme as normas nacionais. Nos casos de pagamento à vista, seja com capital próprio ou por financiamento, é possível conseguir bons descontos, sendo aqui considerado uma redução de 10% no valor total do investimento.

**Tabela 6 – Custo médio aproximado do sistema de aquecimento solar**

Descrição	Quantidade	Preço médio	
		Unitário	Parcial
Reservatório Térmico 800 L	1	R\$ 3.800,00	R\$ 3.800,00
Coletor Solar 2,0m <sup>2</sup>	8	R\$ 1.305,45	R\$ 10.443,60
Válvula Solar atenuante de congelamento	1	R\$ 349,00	R\$ 349,00
Mão de Obra	-	R\$ 3.900,00	R\$ 3.900,00
Materiais Diversos	-	R\$ 2.500,00	R\$ 2.500,00
		SubTotal	R\$ 20.992,60
		Desconto 10%	R\$ 2.099,26
		<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 18.893,34</b>

**Fonte: A autoria própria (2023)**

A Tabela 7, Tabela 8, Tabela 9 e Tabela 10 representam os fluxos de caixa para os cenários 1, 2, 3 e 4 respectivamente, sendo fundamentais para os cálculos dos indicadores econômicos. Da esquerda para direita têm-se:

- **Ano:** Inicia em 0, representado pelo momento efetivo da compra do SAS e finaliza em 20, período de planejamento adotado
- **Investimento:** Valor orçado para aquisição do SAS (não considera possíveis juros de empréstimos)
- **Juros empréstimo:** Valor orçado para aquisição do SAS (não considera possíveis juros de empréstimos)
- **Eletricidade:** Valores economizados ao se utilizar a energia solar para o aquecimento da água nos banhos na substituição do chuveiro elétrico convencional, com reajustes anuais de 4 % a.a. Aqui não foram considerados gastos eventuais referentes ao aquecimento elétrico auxiliar
- **Manutenção:** Custos referentes as manutenções do sistema, sendo aqui considerado 2 manutenções ao ano, com reajustes anuais de 4 % a.a
- **Fluxo de Caixa:** Representa o resultado de todas as entradas e saídas dentro do Caixa, sendo aqui a somatória do investimento, dos juros de empréstimo, dos valores economizados em eletricidade e custos com manutenção
- **A recuperar:** Quando negativo, representa o valor que falta ser recuperado do capital inicialmente investido, ao alcançar o zero, significa que o capital inicial foi totalmente recuperado e para valores positivos representa um lucro obtido

- **Fluxo de Caixa Descontado:** Representa o mesmo significado do Fluxo de Caixa anteriormente mencionado, porém aqui considera-se a flutuação do dinheiro no tempo a partir da TMA (Taxa Mínima de Atratividade) adotada
- **A recuperar Descontado:** Representa o mesmo significado do A recuperar anteriormente mencionado, porém aqui considera-se a flutuação do dinheiro no tempo a partir da TMA (Taxa Mínima de Atratividade) adotada

Tabela 7 – Fluxo de Caixa | Cenário 1

Ano	Investimento	Juros empréstimo	Eletricidade	Manutenção	Fluxo de Caixa	A recuperar	FC Descontado	A recup. Descontado
0	-18.893,34	0,00	0,00	0,00	-18.893,34	-18.893,34	-18.893,34	-18.893,34
1	0,00	0,00	4.586,40	-188,93	4.397,47	-14.495,87	3.877,49	-15.015,85
2	0,00	0,00	4.769,86	-196,49	4.573,37	-9.922,51	3.555,77	-11.460,08
3	0,00	0,00	4.960,65	-204,35	4.756,30	-5.166,21	3.260,73	-8.199,35
4	0,00	0,00	5.159,08	-212,52	4.946,55	-219,66	2.990,18	-5.209,17
5	0,00	0,00	5.365,44	-221,03	5.144,41	4.924,76	2.742,07	-2.467,09
6	0,00	0,00	5.580,06	-229,87	5.350,19	10.274,95	2.514,56	47,46
7	0,00	0,00	5.803,26	-239,06	5.564,20	15.839,15	2.305,91	2.353,38
8	0,00	0,00	6.035,39	-248,62	5.786,77	21.625,91	2.114,58	4.467,96
9	0,00	0,00	6.276,81	-258,57	6.018,24	27.644,15	1.939,13	6.407,09
10	0,00	0,00	6.527,88	-268,91	6.258,97	33.903,12	1.778,23	8.185,33
11	0,00	0,00	6.788,99	-279,67	6.509,32	40.412,44	1.630,69	9.816,01
12	0,00	0,00	7.060,55	-290,85	6.769,70	47.182,14	1.495,39	11.311,40
13	0,00	0,00	7.342,97	-302,49	7.040,49	54.222,62	1.371,31	12.682,71
14	0,00	0,00	7.636,69	-314,59	7.322,11	61.544,73	1.257,53	13.940,23
15	0,00	0,00	7.942,16	-327,17	7.614,99	69.159,72	1.153,19	15.093,42
16	0,00	0,00	8.259,85	-340,26	7.919,59	77.079,31	1.057,50	16.150,92
17	0,00	0,00	8.590,24	-353,87	8.236,37	85.315,68	969,76	17.120,68
18	0,00	0,00	8.933,85	-368,02	8.565,83	93.881,51	889,29	18.009,97
19	0,00	0,00	9.291,20	-382,74	8.908,46	102.789,97	815,51	18.825,48
20	0,00	0,00	9.662,85	-398,05	9.264,80	112.054,77	747,84	19.573,32

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 8 – Fluxo de Caixa | Cenário 2

Ano	Investimento	Juros empréstimo	Eletricidade	Manutenção	Fluxo de Caixa	A recuperar	FC Descontado	A recup. Descontado
0	-20.992,60	0,00	0,00	0,00	-20.992,60	-20.992,60	-20.992,60	-20.992,60
1	0,00	0,00	4.586,40	-209,93	4.376,47	-16.616,13	3.858,98	-17.133,62
2	0,00	0,00	4.769,86	-218,32	4.551,53	-12.064,59	3.538,79	-13.594,82
3	0,00	0,00	4.960,65	-227,06	4.733,59	-7.331,00	3.245,17	-10.349,66
4	0,00	0,00	5.159,08	-236,14	4.922,94	-2.408,06	2.975,90	-7.373,75
5	0,00	0,00	5.365,44	-245,58	5.119,86	2.711,79	2.728,98	-4.644,77
6	0,00	0,00	5.580,06	-255,41	5.324,65	8.036,44	2.502,55	-2.142,22
7	0,00	0,00	5.803,26	-265,62	5.537,64	13.574,08	2.294,91	152,69
8	0,00	0,00	6.035,39	-276,25	5.759,14	19.333,22	2.104,49	2.257,18
9	0,00	0,00	6.276,81	-287,30	5.989,51	25.322,73	1.929,87	4.187,05
10	0,00	0,00	6.527,88	-298,79	6.229,09	31.551,82	1.769,75	5.956,80
11	0,00	0,00	6.788,99	-310,74	6.478,25	38.030,07	1.622,90	7.579,70
12	0,00	0,00	7.060,55	-323,17	6.737,38	44.767,45	1.488,25	9.067,95
13	0,00	0,00	7.342,97	-336,10	7.006,88	51.774,32	1.364,76	10.432,71
14	0,00	0,00	7.636,69	-349,54	7.287,15	59.061,47	1.251,52	11.684,23
15	0,00	0,00	7.942,16	-363,52	7.578,64	66.640,11	1.147,68	12.831,91
16	0,00	0,00	8.259,85	-378,06	7.881,78	74.521,89	1.052,45	13.884,37
17	0,00	0,00	8.590,24	-393,19	8.197,05	82.718,95	965,13	14.849,49
18	0,00	0,00	8.933,85	-408,91	8.524,94	91.243,88	885,05	15.734,54
19	0,00	0,00	9.291,20	-425,27	8.865,93	100.109,82	811,61	16.546,16
20	0,00	0,00	9.662,85	-442,28	9.220,57	109.330,39	744,27	17.290,43

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 9 – Fluxo de Caixa | Cenário 3

(continua)

Ano	Investimento	Juros empréstimo	Eletricidade	Manutenção	Fluxo de Caixa	A recuperar	FC Descontado	A recup. Descontado
0	-18.893,34	0,00	0,00	0,00	-18.893,34	-18.893,34	-18.893,34	-18.893,34
1	0,00	-1.632,11	4.586,40	-188,93	2.765,36	-16.127,98	2.438,37	-16.454,97
2	0,00	-1.378,22	4.769,86	-196,49	3.195,14	-12.932,84	2.484,21	-13.970,76
3	0,00	-1.073,56	4.960,65	-204,35	3.682,74	-9.250,09	2.524,75	-11.446,02
4	0,00	-707,96	5.159,08	-212,52	4.238,60	-5.011,50	2.562,22	-8.883,80
5	0,00	-269,24	5.365,44	-221,03	4.875,18	-136,32	2.598,56	-6.285,23
6	0,00	0,00	5.580,06	-229,87	5.350,19	5.213,87	2.514,56	-3.770,68
7	0,00	0,00	5.803,26	-239,06	5.564,20	10.778,07	2.305,91	-1.464,76
8	0,00	0,00	6.035,39	-248,62	5.786,77	16.564,83	2.114,58	649,82
9	0,00	0,00	6.276,81	-258,57	6.018,24	22.583,07	1.939,13	2.588,95
10	0,00	0,00	6.527,88	-268,91	6.258,97	28.842,03	1.778,23	4.367,19
11	0,00	0,00	6.788,99	-279,67	6.509,32	35.351,36	1.630,69	5.997,88

Tabela 9 – Fluxo de Caixa | Cenário 3

(conclusão)

Ano	Investimento	Juros empréstimo	Eletricidade	Manutenção	Fluxo de Caixa	A recuperar	FC Descontado	A recup. Descontado
12	0,00	0,00	7.060,55	-290,85	6.769,70	42.121,06	1.495,39	7.493,26
13	0,00	0,00	7.342,97	-302,49	7.040,49	49.161,54	1.371,31	8.864,57
14	0,00	0,00	7.636,69	-314,59	7.322,11	56.483,65	1.257,53	10.122,10
15	0,00	0,00	7.942,16	-327,17	7.614,99	64.098,64	1.153,19	11.275,28
16	0,00	0,00	8.259,85	-340,26	7.919,59	72.018,23	1.057,50	12.332,78
17	0,00	0,00	8.590,24	-353,87	8.236,37	80.254,60	969,76	13.302,54
18	0,00	0,00	8.933,85	-368,02	8.565,83	88.820,43	889,29	14.191,83
19	0,00	0,00	9.291,20	-382,74	8.908,46	97.728,89	815,51	15.007,34
20	0,00	0,00	9.662,85	-398,05	9.264,80	106.993,69	747,84	15.755,18

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 10 – Fluxo de Caixa | Cenário 4

Ano	Investimento	Juros empréstimo	Eletricidade	Manutenção	Fluxo de Caixa	A recuperar	FC Descontado	A recup. Descontado
0	-18.893,34	0,00	0,00	0,00	-18.893,34	-18.893,34	-18.893,34	-18.893,34
1	0,00	-3.264,22	4.586,40	-188,93	1.133,25	-17.760,09	999,25	-17.894,09
2	0,00	-2.756,44	4.769,86	-196,49	1.816,92	-15.943,17	1.412,65	-16.481,44
3	0,00	-2.147,11	4.960,65	-204,35	2.609,19	-13.333,98	1.788,76	-14.692,69
4	0,00	-1.415,91	5.159,08	-212,52	3.530,64	-9.803,34	2.134,26	-12.558,42
5	0,00	-538,48	5.365,44	-221,03	4.605,94	-5.197,40	2.455,06	-10.103,37
6	0,00	0,00	5.580,06	-229,87	5.350,19	152,79	2.514,56	-7.588,81
7	0,00	0,00	5.803,26	-239,06	5.564,20	5.716,99	2.305,91	-5.282,90
8	0,00	0,00	6.035,39	-248,62	5.786,77	11.503,75	2.114,58	-3.168,31
9	0,00	0,00	6.276,81	-258,57	6.018,24	17.521,99	1.939,13	-1.229,18
10	0,00	0,00	6.527,88	-268,91	6.258,97	23.780,95	1.778,23	549,05
11	0,00	0,00	6.788,99	-279,67	6.509,32	30.290,28	1.630,69	2.179,74
12	0,00	0,00	7.060,55	-290,85	6.769,70	37.059,98	1.495,39	3.675,13
13	0,00	0,00	7.342,97	-302,49	7.040,49	44.100,46	1.371,31	5.046,43
14	0,00	0,00	7.636,69	-314,59	7.322,11	51.422,57	1.257,53	6.303,96
15	0,00	0,00	7.942,16	-327,17	7.614,99	59.037,56	1.153,19	7.457,15
16	0,00	0,00	8.259,85	-340,26	7.919,59	66.957,15	1.057,50	8.514,65
17	0,00	0,00	8.590,24	-353,87	8.236,37	75.193,52	969,76	9.484,40
18	0,00	0,00	8.933,85	-368,02	8.565,83	83.759,35	889,29	10.373,70
19	0,00	0,00	9.291,20	-382,74	8.908,46	92.667,81	815,51	11.189,20
20	0,00	0,00	9.662,85	-398,05	9.264,80	101.932,60	747,84	11.937,04

Fonte: Autoria própria (2023)

Para os financiamentos foi adotado o método do sistema de amortização pela tabela PRICE. Na Tabela 11 e Tabela 12 encontram-se a construções dos financiamentos das tabelas

PRICE para um empréstimo de 5 anos dos cenários 3 e 4 respectivamente, o qual possuem empréstimos em seus fluxos de caixa. Da esquerda para direita têm-se:

- **Mês:** Inicia em 0, representado pelo momento efetivo do empréstimo e finaliza no período 60, completando assim 5 anos
- **Prestação:** Resultante da soma da amortização e juros. Possui parcelas de valores iguais durante todos os períodos, sendo característico do sistema de amortização PRICE
- **Amortização:** Valor referente ao quitamento da quantia inicialmente financiada
- **Juros:** Valor a ser pago devido a se aceitar determinada quantia emprestada. Também pode ser considerado o lucro daquele que emprestou dinheiro a um terceiro
- **Saldo Devedor:** Quantia que falta ser paga para quitamento total da dívida. Nos cenários considerados, ao final do mês 60 tal valor deve ser necessariamente zero

Tabela 11 – Tabela PRICE | Cenário 3

(continua)

Mês	Prestação	Amortização	Juros	Saldo Devedor
0	0,00	0,00	0,00	9.446,67
1	241,80	97,17	144,62	9.349,50
2	241,80	98,66	143,14	9.250,84
3	241,80	100,17	141,63	9.150,67
4	241,80	101,70	140,09	9.048,96
5	241,80	103,26	138,53	8.945,70
6	241,80	104,84	136,95	8.840,86
7	241,80	106,45	135,35	8.734,41
8	241,80	108,08	133,72	8.626,34
9	241,80	109,73	132,06	8.516,61
10	241,80	111,41	130,38	8.405,19
11	241,80	113,12	128,68	8.292,08
12	241,80	114,85	126,95	8.177,23
13	241,80	116,61	125,19	8.060,62
14	241,80	118,39	123,40	7.942,23
15	241,80	120,20	121,59	7.822,03
16	241,80	122,04	119,75	7.699,98
17	241,80	123,91	117,88	7.576,07
18	241,80	125,81	115,99	7.450,26
19	241,80	127,74	114,06	7.322,52
20	241,80	129,69	112,10	7.192,83



Tabela 11 – Tabela PRICE | Cenário 3

(continuação)

<b>Mês</b>	<b>Prestação</b>	<b>Amortização</b>	<b>Juros</b>	<b>Saldo Devedor</b>
21	241,80	131,68	110,12	7.061,15
22	241,80	133,69	108,10	6.927,46
23	241,80	135,74	106,06	6.791,72
24	241,80	137,82	103,98	6.653,90
25	241,80	139,93	101,87	6.513,97
26	241,80	142,07	99,73	6.371,90
27	241,80	144,25	97,55	6.227,66
28	241,80	146,45	95,34	6.081,20
29	241,80	148,70	93,10	5.932,51
30	241,80	150,97	90,82	5.781,53
31	241,80	153,28	88,51	5.628,25
32	241,80	155,63	86,17	5.472,62
33	241,80	158,01	83,78	5.314,61
34	241,80	160,43	81,36	5.154,18
35	241,80	162,89	78,91	4.991,29
36	241,80	165,38	76,41	4.825,91
37	241,80	167,91	73,88	4.657,99
38	241,80	170,48	71,31	4.487,51
39	241,80	173,09	68,70	4.314,41
40	241,80	175,74	66,05	4.138,67
41	241,80	178,44	63,36	3.960,23
42	241,80	181,17	60,63	3.779,07
43	241,80	183,94	57,86	3.595,13
44	241,80	186,76	55,04	3.408,37
45	241,80	189,62	52,18	3.218,75
46	241,80	192,52	49,28	3.026,24
47	241,80	195,47	46,33	2.830,77
48	241,80	198,46	43,34	2.632,31
49	241,80	201,50	40,30	2.430,82
50	241,80	204,58	37,21	2.226,23
51	241,80	207,71	34,08	2.018,52
52	241,80	210,89	30,90	1.807,63
53	241,80	214,12	27,67	1.593,51
54	241,80	217,40	24,40	1.376,11
55	241,80	220,73	21,07	1.155,38
56	241,80	224,11	17,69	931,27
57	241,80	227,54	14,26	703,73

Tabela 11 – Tabela PRICE | Cenário 3

(conclusão)

Mês	Prestação	Amortização	Juros	Saldo Devedor
58	241,80	231,02	10,77	472,71
59	241,80	234,56	7,24	238,15
60	241,80	238,15	3,65	0,00

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 12 – Tabela PRICE | Cenário 4

(continua)

Mês	Prestação	Amortização	Juros	Saldo Devedor
0	0,00	0,00	0,00	18.893,34
1	483,59	194,34	289,25	18.699,00
2	483,59	197,32	286,27	18.501,68
3	483,59	200,34	283,25	18.301,33
4	483,59	203,41	280,18	18.097,93
5	483,59	206,52	277,07	17.891,40
6	483,59	209,68	273,91	17.681,72
7	483,59	212,89	270,70	17.468,83
8	483,59	216,15	267,44	17.252,67
9	483,59	219,46	264,13	17.033,21
10	483,59	222,82	260,77	16.810,39
11	483,59	226,23	257,36	16.584,16
12	483,59	229,70	253,89	16.354,46
13	483,59	233,21	250,38	16.121,24
14	483,59	236,78	246,81	15.884,46
15	483,59	240,41	243,18	15.644,05
16	483,59	244,09	239,50	15.399,96
17	483,59	247,83	235,77	15.152,14
18	483,59	251,62	231,97	14.900,52
19	483,59	255,47	228,12	14.645,04
20	483,59	259,38	224,21	14.385,66
21	483,59	263,35	220,24	14.122,30
22	483,59	267,39	216,21	13.854,92
23	483,59	271,48	212,11	13.583,44
24	483,59	275,64	207,96	13.307,80
25	483,59	279,86	203,74	13.027,94
26	483,59	284,14	199,45	12.743,80
27	483,59	288,49	195,10	12.455,31
28	483,59	292,91	190,68	12.162,41

Tabela 12 – Tabela PRICE | Cenário 4

(conclusão)

Mês	Prestação	Amortização	Juros	Saldo Devedor
29	483,59	297,39	186,20	11.865,01
30	483,59	301,94	181,65	11.563,07
31	483,59	306,57	177,02	11.256,50
32	483,59	311,26	172,33	10.945,24
33	483,59	316,03	167,57	10.629,22
34	483,59	320,86	162,73	10.308,35
35	483,59	325,78	157,82	9.982,58
36	483,59	330,76	152,83	9.651,81
37	483,59	335,83	147,76	9.315,98
38	483,59	340,97	142,62	8.975,02
39	483,59	346,19	137,40	8.628,83
40	483,59	351,49	132,10	8.277,34
41	483,59	356,87	126,72	7.920,47
42	483,59	362,33	121,26	7.558,13
43	483,59	367,88	115,71	7.190,25
44	483,59	373,51	110,08	6.816,74
45	483,59	379,23	104,36	6.437,51
46	483,59	385,04	98,55	6.052,47
47	483,59	390,93	92,66	5.661,54
48	483,59	396,92	86,68	5.264,62
49	483,59	402,99	80,60	4.861,63
50	483,59	409,16	74,43	4.452,47
51	483,59	415,43	68,16	4.037,04
52	483,59	421,79	61,80	3.615,26
53	483,59	428,24	55,35	3.187,01
54	483,59	434,80	48,79	2.752,21
55	483,59	441,46	42,13	2.310,75
56	483,59	448,22	35,38	1.862,54
57	483,59	455,08	28,51	1.407,46
58	483,59	462,04	21,55	945,42
59	483,59	469,12	14,47	476,30
60	483,59	476,30	7,29	0,00

Fonte: Autoria própria (2023)

Conforme resultados da Tabela 13, por VPL (Valor Presente Líquido) o empreendimento além de garantir de 13,41 % de lucro por ano, conforme TMA (Taxa Mínima de Atratividade) definida, ofereceu um ganho adicional de R\$ 11.937,04 a até R\$ 19.573,32 em valores atuais, considerando os cenários menos e mais favoráveis respectivamente.

Por TIR (Taxa Interna de Retorno) o empreendimento garantiu lucros de 20,20 % a até 26,84 %, acima do esperado pela TMA (Taxa Mínima de Atratividade). Já para os cálculos de *payback*, o prazo de recuperação do capital pode ficar entre 4 anos a até 5 anos e 11 meses e para *payback* descontado entre 5 anos e 11 meses a até 9 anos e 8 meses, sendo em todos os casos abaixo do planejamento de 20 anos, considerado tempo mínimo de vida útil do sistema.

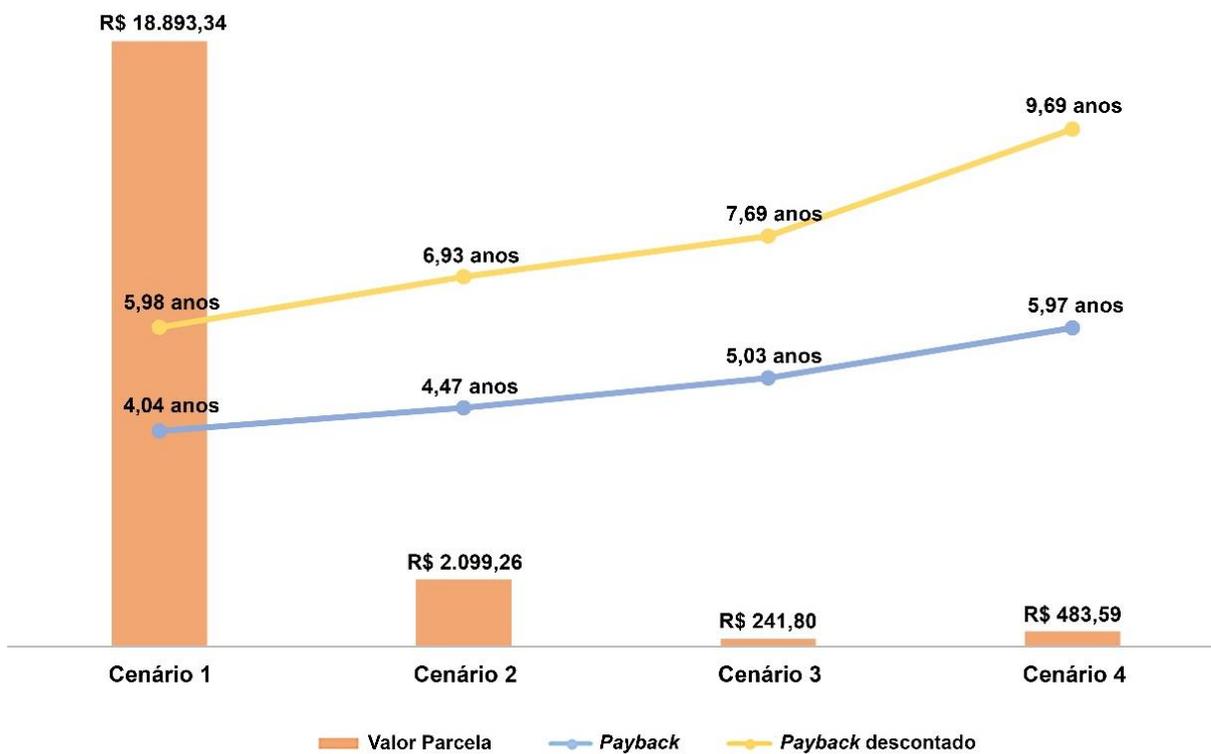
**Tabela 13 – Resultados dos indicadores da análise econômica**

<b>Indicador</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>	<b>Cenário 4</b>
VPL	R\$ 19.573,32	R\$ 17.290,43	R\$ 15.755,18	R\$ 11.937,04
TIR	26,84 %	24,25 %	23,23 %	20,20 %
<i>Payback</i>	4,04 anos	4,47 anos	5,03 anos	5,97 anos
<i>Payback</i> descontado	5,98 anos	6,93 anos	7,69 anos	9,69 anos

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Conforme Tabela 13, em todos os cenários o investimento se apresentou viável para os indicadores avaliados, sendo cada vez mais atrativo conforme menos financiamento for necessário e menos parcelas efetuadas.

Levando em conta que o empreendimento se demonstra viável em todos os cenários apresentados, a aplicação do cenário 3 se prova bastante atrativo para pessoas com menor renda, que apesar de não trazer o melhor resultado, com um *payback* de 5,03 anos e *payback* descontado de 7,69 anos, possui parcelas mensais inferiores a R\$ 250,00, sendo acessível para um público mais amplo, assim como demonstra o Gráfico 6.

Gráfico 6 – Valor da Parcela x *Payback* e *Payback* descontado

Fonte: Autoria própria (2023)

## 5 CONCLUSÃO

Por meio da revisão de literatura e pesquisa exploratória, buscando entender melhor o tema e seu contexto dentro do Brasil, além do funcionamento dos sistemas de aquecimento solar e análises econômicas, o estudo de caso buscou realizar uma análise de viabilidade econômica, da implementação de um projeto de sistema de aquecimento solar com placas planas fechadas.

O estudo foi baseado em um pensionato existente na cidade de Curitiba-PR, com lotação de 15 residentes, sendo os dados necessários coletados por meio de ligações ao dono do imóvel e pesquisas na internet. Para o processamento dos cálculos cabíveis ao trabalho, tanto de dimensionamento, quanto contábeis, fez-se uso do Software Microsoft Excel, seguindo as devidas normas competentes.

Pelo dimensionamento do sistema, conforme normas brasileiras, encontrou-se que o reservatório térmico deveria ter ao menos 675 L e área útil dos coletores de 14,99 m<sup>2</sup>. Por meio de pesquisas de mercado e dos orçamentos efetuados, encontrou-se que os equipamentos mais adequados para o projeto proposto seriam um tanque de 800 L, de tamanho facilmente encontrado no mercado, sendo aqui adotado o R.T INOX HZ. NIVEL SUPER MAX 800L D. 0,8 M e 8 placas solares planas fechadas, adotado neste trabalho o Coletor Solar Inox Max Alumínio 2,0 m<sup>2</sup>, que juntas somam 16 m<sup>2</sup> de área útil, ambos da marca Soletrol.

Cenários considerando financiamentos foram construídos, que somado ao custo médio de gasto mensal com energia elétrica para banhos e ao custo aproximado de aquisição e instalação dos equipamentos em um fluxo de caixa, possibilitaram uma análise de viabilidade econômica da implementação do SAS.

Como resultado da análise, o projeto se mostrou viável pelos indicadores VPL (Valor Presente Líquido), TIR (Taxa Interna de Retorno), *payback* e *payback* descontado para todos os cenários, sendo cada vez mais favorável quanto mais capital próprio e menos financiamento fosse utilizado no investimento, sendo mais atrativo ainda caso seja possível efetuar um pagamento à vista.

Na comparação dos resultados entre os cenários, foi possível visualizar que o cenário 3 se prova bastante atrativo para o público de baixa renda, possuindo parcelas mensais inferiores a R\$ 250,00 e ainda assim trazendo retorno positivo do investimento, sinalizando que é possível encontrar boas opções ao mesclar capital próprio com financiamentos na aquisição de sistemas de aquecimento solar.

Deve-se ressaltar ainda, a relevância da busca de meios de energia renovável no país, uma vez que se depara com acirradas discussões ambientais. Assim, a energia renovável que provém de recursos naturais como o sol, o vento, a chuva, o mar e do calor do solo, são consideradas energias “limpas”, ou melhor, dispõem da capacidade de reduzir os impactos causados ao meio ambiente.

Neste contexto, além de ser diversa à fonte hídrica, já saturada no país, destaca-se o uso da energia solar dentre as demais fontes alternativas de energia, em função de sua disponibilidade ao longo de todas as regiões do território nacional.

## REFERÊNCIAS

- ABSOLAR. **Brasil avança no ranking mundial da fonte solar**. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/brasil-avanca-no-ranking-mundial-da-fonte-solar/#:~:text=O%20ranking%20>>. Acesso em: 3 abr. 2023.
- ABNT. **NBR10185: Reservatórios termossolares para líquidos destinados a sistemas de energia solar - Método de ensaio para desempenho térmico**. 3. ed. [s.l: s.n.].
- ABNT. **NBR15569: Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto — Requisitos de projeto e instalação**. 3. ed. [s.l: s.n.].
- ABNT. **NBR17003 - Sistemas solares térmicos e seus componentes — Coletores solares — Requisitos gerais e métodos de ensaio**. [s.l: s.n.].
- ABRAVA. **Manual De Capacitação Em Projetos De Sistemas De Aquecimento Solar**. Abril ed. [s.l: s.n.].
- ABREU, A. S. G. C. DE. **Disseminação de uma tecnologia de baixo custo para aquecimento de água utilizando energia solar em uma escola da periferia de Curitiba-PR**. Curitiba: [s.n.].
- ÁGUA QUENTE. **RESERVATÓRIO TÉRMICO - BOILER**. Disponível em: <<https://www.aguaquentecampinas.com.br/reservatorio-termico-boiler/>>. Acesso em: 13 set. 2021.
- AITA, F. **Estudo do desempenho de um sistema de aquecimento de água por energia solar e gás**. Porto Alegre: [s.n.].
- ALTUNTOP, N. et al. **Effect of obstacles on thermal stratification in hot water storage tanks**. *Applied Thermal Engineering*, v. 25, n. 14–15, p. 2285–2298, out. 2005.
- AMOEDO. **Boiler Elétrico 150l Vertical Cobre 110V Kobe**. Disponível em: <[https://www.amoedo.com.br/catalog/product/view/\\_ignore\\_category/1/id/37673/s/boiler-eletrico-150l-vertical-cobre-110v-kobe/](https://www.amoedo.com.br/catalog/product/view/_ignore_category/1/id/37673/s/boiler-eletrico-150l-vertical-cobre-110v-kobe/)>. Acesso em: 15 set. 2021.
- ANEEL. **Atlas de Energia Eletrica do Brasil**. 3. ed. [s.l: s.n.].
- APPEL, J. C. R. **Desenvolvimento de sistema de aquecimento solar de baixo custo e complexidade técnica**. Francisco Beltrão: [s.n.].
- ARAÚJO DO NASCIMENTO, C. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**. [s.l: s.n.].
- ASHRAE. **ASHRAE: Systems and Equipment Handbook**, Nova York, 1996.
- BORGES, T. P. DE F. **Síntese Otimizada de Sistemas de Aquecimento Solar de Água**. Campinas: [s.n.], 28 jan. 2000.



BODIE, Z, KANE, A, MARCUS, A. **Fundamentos de investimentos**. AMGH Editora, 2014.

CAIXA. **Empréstimos para você | Crédito CAIXA**. Disponível em:

<<https://www.caixa.gov.br/voce/credito-financiamento/emprestimo/Paginas/default.aspx>>.

Acesso em: 12 fev. 2023.

CLIMATE DATA. **Temperatura média de Curitiba** - 2023. Disponível em:

<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/parana/curitiba-2010/>. Acesso em 30 de janeiro de 2023.

CONFORTEC. **termossifão - Confortec - Aquecimento de água e energia solar - Farroupilha**. Disponível em: <<https://confortec.com.br/sistemas-de-aquecimento-de-esquentar-tambem-economizar/termossifao/>>. Acesso em: 2 ago. 2021.

COPEL. **Tarifas de energia elétrica**. Disponível em: <<https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/tarifas-de-energia-eletrica/>>. Acesso em: 26 fev. 2023.

CRESESB - CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. **Radiação Solar**. Disponível em:

[http://www.cresesb.cepel.br/index.php#localidade\\_4121](http://www.cresesb.cepel.br/index.php#localidade_4121). Acesso em 30 de janeiro de 2023.

ENERGY. **Águas quentes sanitárias - Circulação Forçada**. Disponível em: <<http://www.is-energy.eu/sistema-para-agua-quente-sanitaria-aqs>>. Acesso em: 3 ago. 2021.

EKOS BRASIL; VITAE CIVILIS. **Introdução ao Sistema de Aquecimento Solar**. [s.l: s.n.].

FAIMAN, D.; HAZAN, H.; LAUFER, I. **Reducing the heat loss at night from solar water heaters of the integrated collector-storage variety**. [s.l: s.n.].

FERNANDES, V. M. M. **Universidade do Minho Escola de Engenharia**. [s.l: s.n.].

GALESNE, Alain; FENSTERSEIFER, Jaime E.; LAMB, Roberto. **Decisões de investimentos da empresa**. São Paulo: Atlas, 1999.

GEÁ, Luíza; LEMOS, Vinícius; OLIVEIRA, Raquel D.; LIMA, Frederico R. S. **Estudo da viabilidade econômica de um sistema de aquecimento solar de água em uma residência unifamiliar em Lagoa Santa (MG)**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre: ANTAC, 2020.

GIL, A.C. **Métodos e Técnicas De Pesquisa Social** - 7ª Ed. Saraiva. 2019.

GRIMM, Alice Marlene. **Movimentos da Terra, Estações**. 1999. Disponível em:

<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-1.html>. Acesso em: 01 fevereiro. 2023.

INMETRO. **Equipamentos de Aquecimento Solar de Água**. Disponível em:

<<https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/equipamentos-de-aquecimento-solar-de-agua/>>. Acesso em: 14 abr. 2023.

JR, A. P.; REIS, L. B. DOS. **Energia e sustentabilidade**. 1. ed. [s.l.] Manole Ltda, 2016.

KARKI, S.; HAAPALA, K.R.; FRONK, B.M. **Technical and economic feasibility of solar flat-plate collector thermal energy systems for small and medium manufacturers**. 2019.

KOMECEO. **Energia Solar - Tudo que você precisa saber**. Disponível em: <<https://www.komeceo.com.br/energia-solar-o-que-voce-precisa-saber/>>. Acesso em: 29 jul. 2021.

LABEEE et al. **Casa Eficiente: Consumo e Geração de Energia**. [s.l: s.n.]. v. 2

LIMA, J. B. A. **Otimização de sistema de aquecimento solar de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa Trnsys**. São Paulo: [s.n.].

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M. **Metodologia científica**. 7ª ed. São Paulo: Altas, 2017.

MATOS, I. B. **Avaliação das possibilidades de inserção de energia solar térmica em cozinhas industriais**. Niterói. Universidade Federal Fluminense, 2014.

MAUTHNER, F.; WEISS, W.; SPÖRK-DÜR, M. **Solar Heat Worldwide: Markets and Contribution to the Energy Supply 2013**. 2015. ed. [s.l: s.n.].

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2023**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <[www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)>.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **BEN 2017 - Relatório Síntese**. [s.l: s.n.].

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **BEN 2021 - Relatório Síntese**. [s.l: s.n.].

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **BEN 2022 - Relatório Final**. [s.l: s.n.].

MIYAZATO, T. **Integração do Sistema de Aquecimento Solar (SAS) ao projeto de edificações residenciais**. São Paulo: Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo, 7 mar. 2012.

OCA SOLAR ENERGIA. **Energia Solar Fotovoltaica E Energia Solar Térmica: Saiba A Diferença**. Disponível em: <<https://www.ocaenergia.com/blog/energia-solar/energia-solar-fotovoltaica-energia-solar-termica-saiba-diferenca/>>. Acesso em: 29 jul. 2021.

PEDRAZZI, Diogo R.; VIEIRA, Saulo F. A. **O processo de tomada de decisão de investimentos de capital nas micro, pequenas e médias empresas: um estudo de caso do setor metalúrgico de Londrina-PR**. Revista Facesi, v. 1, n. 1, p. 1-8, 2009.

PEREIRA, E. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. [s.l: s.n.].

PROCOBRE. **Aplicações do cobre / Energía Solar**. [s.d.].

PROJECTISTA. **Energia Solar Térmica**. Disponível em: <<https://projectista.pt/products/energia-solar-termica-3>>. Acesso em: 3 ago. 2021.

RAJAB, Z.; ZUHIER, M.; KHALIL, A.; EL-FAITOURI, A.S. **Techno-Economic Feasibility Study Of Solar Water Heating System In Libya**. The 8th International Renewable Energy Congress (IREC 2017).

REDE BRASIL, D. C. E. A. S. **Noções iniciais sobre aquecimento solar. In: Curso de capacitação em aquecimento solar**. [s.l.: s.n.].

REIS, P. **Vantagens e desvantagens do painel solar térmico de circulação forçada e termossifão**. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/vantagens-desvantagens-painel-solar-termico-circulacao-forcada-termossifao/>>. Acesso em: 2 ago. 2021.

RODRIGUES, F. L. **Método de avaliação das condições de implementação de sistema de aquecimento solar de água em edifícios residenciais verticais**. São Paulo. 2020. 122p. Mestrado Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

SANDRINI, J.C. **Capitalização de juros em renegociação de dívidas: sistemas de amortização**. Curitiba: Juruá, 2016.

SILVA, B.A.; ÂNGELO, E.Q.; NITTA, R.A.G.; PRUDENTE, R.I.; ROCHA, R.R.C.; COGHI, J.F.F. **Estudo de viabilidade sobre fontes renováveis de energia em duchas de banho em um canteiro de obras no município de Santa Quitéria – CE**. 2022.

SILVA, F. M. DA; CHAVES, M. DOS S.; LIMA, Z. M. C. **Trocas de calor na atmosfera**. In: Geografia Física II. Natal: [s.n.]. v. 4p. 1–28.

SIQUEIRA, A. M. DE O. **Desenvolvimento de um programa de simulação computacional de sistemas de aquecimento solar para água**. Porto Alegre: [s.n.].

SOUZA, Alceu; CLEMENTE, Ademir; **Decisões financeiras e análise de investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações** 5ª Ed. São Paulo: Atlas, 2004.

SOUZA JÚNIOR, A.J.; GHILARDI, W.J.; MADRUGA, S.R.; ALVARENGA, S.M. **Energia solar em organizações militares: uma análise da viabilidade econômico-financeira**. 2018

SUNO RESEARCH. **TIR: aprenda a analisar investimentos utilizando a Taxa Interna de Retorno**. Disponível em: Taxa Interna de Retorno: o que é e como calcular a TIR? Disponível em: <[suno.com.br](https://suno.com.br)>. Acesso em: 30 jan. 2023.

SVIECH, V, MANTOVAN, E. A. **Análise de investimentos: controvérsias na utilização da TIR e VPL na comparação de projetos**. Percurso, v. 1, n. 13, p. 270-298, 2013.

TESOURO DIRETO. **Preços e taxas dos títulos IPCA, Pré e Pós-fixados**. Disponível em: <<https://www.tesourodireto.com.br/titulos/precos-e-taxas.htm>>. Acesso em: 26 de fev. 2023.

TIEPOLO, G. M. et al. **Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná**. 1. ed. Curitiba: UTFPR: [s.n.].

VIAN, Â. et al. **Energia Solar Fundamentos Tecnologia e Aplicações**. 1. ed. [s.l.] Edgard Blücher Ltda, 2021.

WILK, J. et al. **Thermal stratification in the storage tank. Procedia Manufacturing**, v. 47, p. 998–100

## APÊNDICE A - Consumo dos pontos de utilização de água quente

**Tabela A – Consumo dos pontos de utilização de água quente**

Indicador	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
VPL	R\$ 19.573,32	R\$ 17.290,43	R\$ 15.755,18	R\$ 11.937,04
TIR	26,84 %	24,25 %	23,23 %	20,20 %
Payback	4,04 anos	4,47 anos	5,03 anos	5,97 anos
Payback descontado	5,98 anos	6,93 anos	7,69 anos	9,69 anos

Fonte: ABNT (2021)

## APÊNDICE B - Temperaturas e precipitações médias em Curitiba

