



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

AROLDO VANCLEI MATOS DE ARAÚJO

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA SOBRE O
AQUECIMENTO DE ÁGUA POR SISTEMA DE COLETORES A
VÁCUO: UM ESTUDO DE CASO EM UM HOTEL.**

Salvador

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

AROLDO VANCLEI MATOS DE ARAÚJO

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA SOBRE O
AQUECIMENTO DE ÁGUA POR SISTEMA DE COLETORES A
VÁCUO: UM ESTUDO DE CASO EM UM HOTEL.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de graduação em Engenharia de Controle e Automação de Processos, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Msc. Ruy Carvalho de Barros

Salvador

2023

AROLDO VANCLEI MATOS DE ARAÚJO

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA SOBRE O
AQUECIMENTO DE ÁGUA POR SISTEMA DE COLETORES A
VÁCUO: UM ESTUDO DE CASO EM UM HOTEL.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de graduação em Engenharia de Controle e Automação de Processos, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Msc. Ruy Carvalho de Barros

Salvador, 07 de dezembro de 2023

Professor e orientador: Ruy Carvalho de Barros

Engenheiro Eletricista: Antônio Bendocchi Alves Neto
TECHNIK Engenharia

Professor Daniel Diniz Santana

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por ser sempre a minha rocha, socorro e meu caminho, pois sem Ele não seria possível esta vitória.

Aos meus pais Neide e Valdionor e meus irmãos por serem a minha base, e a minha motivação para chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus sem o qual não haveria nem a força mais elementar de atração. Agradeço minha família em especial minha mãe Neide, minha tia Sueli e a minha avó Professora Ana, pelo amor que sempre cuidou de nós e serem a força que me fez “enfrentar o mundo” e ingressar na universidade.

A minha melhor amiga, minha companheira Iamara, por todo carinho e força durante todos esses anos de convívio. Pelas palavras de sabedoria nos momentos de dificuldade, e principalmente, pela paciência e capricho com que sempre cuidou de mim.

Ao meu orientador Mestre Ruy Carvalho de Barros pelos conselhos, ensinamentos, paciência, motivações, enfim, por todo o apoio durante a elaboração deste trabalho .

Agradeço também ao meu amigo e o supervisor Antônio Bendocchi pelo interesse neste trabalho, aceitando participar da banca. Não poderia deixar de agradecer todos os funcionários da TECHNIK, especialmente Leandro, Robson, Everaldo, Gabrielle, Cleiton e todos da equipe pela ajuda e troca de conhecimento durante todo esse tempo que passamos juntos.

“Se o mundo te fechar as portas, voe pela janela”

(Autor desconhecido)

RESUMO

A energia solar térmica é uma fonte de grande potencial no aquecimento de água em especial para fins sanitários, tendo em vista os altos níveis de irradiação solar no Brasil, em específico na região nordeste do país. A substituição do chuveiro elétrico – vilão do consumo de energia elétrica – pelo sistema de Aquecimento Solar (SAS) gera benefícios para toda comunidade, sejam as concessionárias de energia elétrica, consumidores e o meio ambiente.

O presente trabalho objetiva apresentar a avaliação da viabilidade técnica da implantação de um Sistema de Aquecimento Solar(SAS) por meio de coletores a vácuo para atender a demanda de um hotel com limitações de área localizado em Lauro de Freitas, Bahia. Contudo, apesar dos benefícios e do grande potencial de uso da tecnologia no Brasil, sua penetração ainda é bem modesta em comparação aos países de menor incidência solar ou mesmo as regiões sul e sudeste do país.

Palavras-chave: Avaliação econômica, engenharia econômica, aquecedor solar e aquecedor a vácuo.

ABSTRACT

Solar thermal energy is a source of great potential for heating water, especially for sanitary purposes, given the high levels of solar irradiation in Brazil, specifically in the northeastern region of the country. Replacing the electric shower - a villain in terms of electricity consumption - with a solar heating system (SAS) generates benefits for the entire community, including electricity utilities, consumers, and the environment.

This study aims to assess the technical feasibility of implementing a Solar Heating System (SAS) using vacuum collectors to meet the demand of a hotel with limited floor space located in Lauro de Freitas, Bahia. However, despite the benefits and great potential for using the technology in Brazil, its penetration is still very modest compared to countries with lower solar incidence or even the south and southeast regions of the country.

Keywords: Economic evaluation, economic engineering, solar heater, and vacuum heater.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Esquema de SAS.	12
Figura 2- Coletores solares Plano aberto e fechado, respectivamente.	14
Figura 3- Coletores a vácuo modular e acoplado, respectivamente.	14
Figura 4- Seção transversal do Tubo Solar a Vácuo.	15
Figura 5- Reservatório Térmico	16
Figura 6- Tubos e conexões em Polipropileno Copolímero Random (PPR).	17
Figura 7- Bombas de Calor da INDUSTEK®.	18
Figura 8- Eletrobomba Sanitária ROWA.	19
Figura 9- CDT da Fullgauge® para aquecimento solar com dois apoios.	19
Figura 10- Esquema de sistema passivo direto.	20
Figura 11- Esquema de sistema passivo indireto.	20
Figura 12- Esquema de sistema ativo direto.	21
Figura 13- Sistema ativo indireto.	21
Figura 14- Exemplo de fluxo de caixa utilizado no estudo.	24
Figura 15- SAS em um hotel em Lauro de Freitas, Bahia.	27
Figura 16- Diagrama simplificado do sistema.	31
Figura 17- Gráfico Valor Presente acumulado versus tempo.	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Custo para a implantação do SAS.	34
Quadro 2 – Fluxo de Caixa esperado do empreendimento	36

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. JUSTIFICATIVA.....	9
1.2.1. Objetivo Geral.....	10
1.2.2. Objetivos Específicos.....	10
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1. SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR (SAS).....	12
2.1.1 Coletores solares	13
2.1.2 Reservatório térmico	15
2.1.3 Tubulação e Acessórios	16
2.1.4 Sistema de aquecimento auxiliar (apoio).....	17
2.1.5 Bombas de circulação e Controlador Diferencial de Temperatura	18
2.2 ARRANJOS DO SISTEMA.....	19
2.2.1 Sistema passivo direto	19
2.2.2 Sistema passivo indireto	20
2.2.3 Sistema ativo direto	20
2.3 NORMAS TÉCNICAS PUBLICADAS.....	21
2.4. REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE DO INMETRO PARA OS SAS.....	22
2.5 ENGENHARIA ECONÔMICA E POTENCIAL ECONÔMICO	23
2.5.1 Valor Presente Líquido (VPL)	24
2.5.2 Tempo de Retorno – <i>Payback</i>	25
3 ESTUDO DE CASO	26
3.1 METODOLOGIA	26
3.2 O EMPREENDIMENTO	27
3.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA	27
3.4.1 Dimensionamento do reservatório do sistema central coletivo	28
3.5 CUSTO PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR	33
3.6 ESTIMATIVA DE ENERGIA ECONOMIZADA COM A IMPLANTAÇÃO DO SAS	34
3.7 TEMPO DE RETORNO (<i>PAYBACK</i>)	35
3.8 VALOR PRESENTE LÍQUIDO	36
4 ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	38
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
6. REFERÊNCIAS	41
ANEXOS	43
Anexo 1.....	43

Anexo 2	43
Anexo 3	44

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com recursos não renováveis e os fenômenos de intensificação do efeito estufa (aquecimento global) torna-se intensa, acarretando na urgência pela busca de tecnologias limpas e eficientes (ABRAVA, 2008). Para (ARAUJO, 2018), o panorama energético atual no mundo direciona os esforços coletivos para a racionalização do uso de fontes tradicionais de energia, como de combustíveis fósseis.

A constante busca por mecanismos mais eficientes e competitivos para utilização de energia renovável promove o desenvolvimento e a melhoria de tecnologias (COSTA et al., 2017). Ainda segundo COSTA et al. (2017), o uso da energia solar para aquecimento de água, também tem sido alvo de pesquisas que visam à melhoria de sistemas existentes e a criação de novos. PEREIRA et al. (2003) entende que a substituição dos chuveiros elétricos pelos coletores solares como uma geração virtual de energia elétrica, onde o desperdício evitado pela utilização do Sistema de Aquecimento Solar (SAS) pode ser aproveitado de maneira distinta por outro consumidor.

Além disso, há também o ganho ambiental, pois a energia solar é uma fonte energética limpa que contribui para a redução das emissões dos Gases do Efeito Estufa (GEE), reduzindo dessa forma a poluição e os efeitos das mudanças climáticas (CRUZ, 2018).

Este trabalho tem como tema principal apresentar um estudo da viabilidade técnica e econômica sobre o uso da energia solar térmica para aquecimento água com fins sanitários em um hotel com limitação de área, para isso será apresentado o estudo de caso da implantação com base na norma de aquecimento de água.

1.1. JUSTIFICATIVA

No ano de 2022 o governo brasileiro subsidiou, através do Proinfra (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia), em cerca de R\$ 5,4 bi o setor de energias renováveis (PAMPLONA, 2023). No ano de 2014, o governo brasileiro havia destinado cerca de US\$ 7,6 bi ao setor de energias renováveis, fazendo o país ser um dos dez maiores investidores na implantação de fontes de energia renovável manteve-se entre os maiores investidores na implantação de fontes de energia renovável (ER). Bancos públicos brasileiros financiam a indústria de ER com baixa taxa de juros, para atingir as metas de expansão destas tecnologias. De acordo com o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2015), a meta para 2030 do Plano Decenal de Energia é que 28% a 33% da matriz energética (excluindo as hidrelétricas) sejam oriundas de fontes renováveis (ARAUJO, 2018).

Segundo ARAUJO (2018), o consumo de energia elétrica é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida de uma sociedade, por refletir o ritmo de atividades do setor industrial, comércio, serviços, bem como a capacidade de aquisição de bens e serviços tecnologicamente avançados dessa sociedade. Esta variável pode ser particularizada no consumo energético do Brasil, onde parte significativa fica destinada às edificações dos setores residencial, comercial e público, que foram responsáveis por 51,2% do consumo de energia elétrica do país no ano de 2020 (EPE, 2021). Ainda de acordo com a EPE (2021) a projeção de consumo de energia para o setor residencial prevê um aumento de 2,7% ao ano, entre 2013 e 2050, já no setor comercial estima-se que o crescimento da demanda de energia ocorra à taxa média anual de 4,3% a.a.

O nordeste brasileiro é a região do país que mais recebe radiação solar no Brasil, uma média diária de 5.688 Wh/m² (COLLE, 2000, p.97). Ainda assim o uso desta fonte de energia para aquecimento de água é inferior ao das regiões sul e sudeste onde essa radiação é menor, é o que afirma SALES (2017).

A energia solar é a forma de energia limpa mais abundante na natureza, conseqüentemente, os aquecedores solares estão invadindo residências, hotéis, edifícios e demais lugares onde são necessários, é o que afirma DOS ANJOS et. al (2014). Nesse contexto, a energia solar pode ser um fator fundamental para a obtenção de ganho econômico de um empreendimento localizado onde há incidência suficiente ao longo do ano, como na Região Metropolitana de Salvador (RMS).

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar a viabilidade técnica da implantação do SAS em uma edificação com restrição de espaço, além avaliar a vantagem financeira da implantação do sistema de aquecimento solar por meio de tubos a vácuo em um hotel localizado na Cidade de Lauro de Freitas/BA, na Região Metropolitana de Salvador (RMS).

1.2.2. Objetivos Específicos

A fim de atender o objetivo geral será necessário:

- Dimensionar um sistema por meio da metodologia prevista pela NBR 15569.
- Comparar o uso de fontes de energias convencionais com o aquecimento feito pela irradiação solar por meio da análise financeira do VPL e o tempo de retorno (*Payback*).

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho será estruturado em capítulos e será apresentado da seguinte forma:

No capítulo um são apresentados os aspectos introdutórios.

O capítulo dois é reservado para a revisão bibliográfica dos fundamentos necessários para compreensão do trabalho. Será abordada a situação energética do Brasil, apresentadas algumas tecnologias de energia solar bem como o potencial brasileiro para explorar esta fonte renovável. Por fim, serão expostos conceitos financeiros necessários para avaliação econômica do investimento feito.

No capítulo três apresenta-se a metodologia usada neste estudo de caso do aquecimento solar realizado por meio do sistema de tubos a vácuo.

No capítulo quatro são expostos a análise e resultados obtidos no estudo.

Enquanto no capítulo cinco é dedicado às considerações finais, seguidas pelas referências bibliográficas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A energia solar é a fonte de energia mais antiga utilizada pela humanidade. Estima-se que o sol forneça em torno de $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia para a atmosfera terrestre (ARAUJO, 2018). O aproveitamento da energia do sol pode se dá por meio de diferentes tecnologias, como para aquecimento solar térmico, energia solar fotovoltaica, energia solar heliotérmica além de estratégias de arquitetura solar.

A energia oriunda do sol é fundamental para a vida na terra, fonte sem a qual não existiria a vida, é o que afirma SALES (2017). ARAUJO (2018) menciona ainda que o Sol é responsável pela maior parte das fontes diretas e indiretas de energia, uma vez que a irradiação solar incidente é captada, por exemplo, por sistemas fotovoltaicos, atua também aquecendo massas de ar que são transportadas (energia eólica), provocando evaporação de águas que culminam com a precipitação, viabilizando energia hidrelétrica e para o desenvolvimento de plantas e animais, que possibilitaram o surgimento de petróleo, carvão e gás natural.

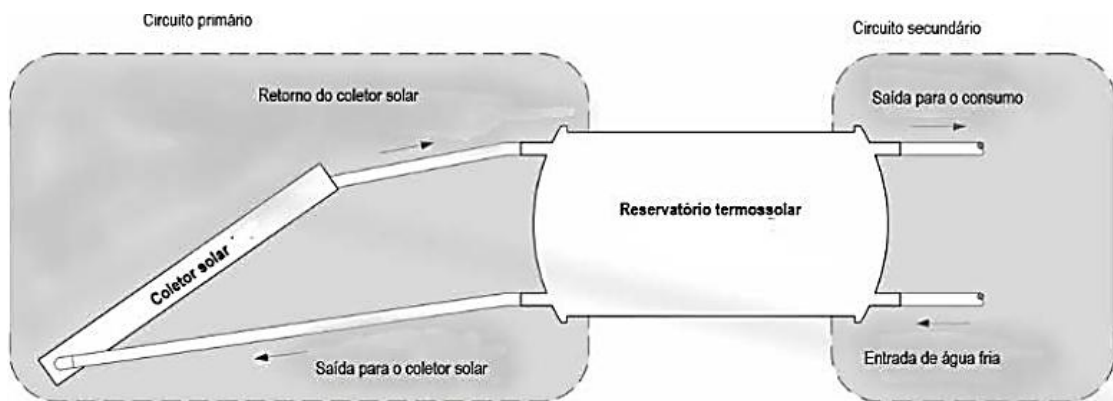
Para a ANEEL (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008) a energia solar térmica então trata-se de uma forma de aproveitar a energia alternativa oriunda do sol para gerar energia térmica. Como exemplo há o aquecimento de piscinas, água para banho, aquecimento de ambientes e aquecimento para processos industriais (SALES,2017).

2.1. SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR (SAS)

De acordo com a ABNT NBR 15569:2008, um sistema de aquecimento solar (SAS) pode ser um sistema composto por coletores solares, reservatórios térmicos, aquecimentos auxiliares, acessórios e suas interligações hidráulicas, que funciona por circulação natural ou forçada (ARAUJO, 2018).

Em 2011 o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, através do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (2011), criou a portaria de nº 477 que contém o Regulamento Técnico da Qualidade para Sistemas e Equipamentos de Aquecimento Solar de Água. Além disso, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em sua NBR-15569:2020 estabelece os requisitos básicos para projetos e instalações de sistemas de aquecimento solar de água. A Figura 1 ilustra o esquema de um SAS convencional.

Figura 1- Esquema de SAS.



Fonte: ABNT NBR15569.

O fluido frio circula e o coletor fornece calor para a água que então retorna ao tanque de armazenamento aquecida.

Os componentes de um sistema solar de aquecimento de água convencional são os seguintes:

- a) Reservatório térmico: tanques utilizados para armazenar a água proveniente do coletor solar, para atender a demanda de consumo fora dos horários de incidência de irradiação. São geralmente construídos em aço inoxidável ou cobre termicamente isolados, conforme ABNT NBR 10185:88;
- b) Coletor Solar: responsável por absorver a energia solar, transferindo-a para o fluido de trabalho, conforme ABNT NBR 10184:88;
- c) Fonte auxiliar de energia;
- d) Interligação do coletor solar com o reservatório;

- e) Sensores, controladores e quadros de comando;
- f) Isolamento térmico e acabamentos; e
- g) Interligação com sistema de aquecimento auxiliar.

A documentação de um projeto de SAS deve contemplar as premissas de cálculo, dimensionamento, fração solar, memorial descritivo, volume de armazenamento, pressão de trabalho, fontes de abastecimento de água, área coletora, ângulos de orientação e de inclinação dos coletores solares, estudo de sombreamento, previsão de dispositivos de segurança, massa dos principais componentes, considerações a respeito de propriedades físico-químicas da água, localização, indicação do norte geográfico, desenho, esquema, especificação de coletores e reservatórios, de tubos, conexões, isolamento térmico, válvulas e motobomba, tipos e localização de suportes e especificação do sistema de aquecimento auxiliar. Deve ser feita inspeção visual e verificação de falhas e vazamentos pré e pós instalação e entrega. (ABNT NBR 15569, 2008).

2.1.1 Coletores solares

Os coletores são os dispositivos que absorvem a radiação solar incidente transferindo-a ao fluido sob a forma de energia térmica. O coletor solar é um equipamento relativamente simples do ponto de vista da engenharia, ele já foram confeccionados, por exemplo, à partir de tubos de PVC, garrafas PET e até mesmo latas de alumínio bebidas (GUERRA & VARELLA, 2014).

No mercado existem dois grupos de coletores: os coletores planos e os coletores de tubos a vácuo. Segundo TOLMASQUIM (2003) os coletores solares planos podem ser divididos em dois grupos: Aberto e fechados. O primeiro trata-se dos coletores utilizados para promover o aquecimento de água até 60°C, enquanto o segundo é mais indicado para aquecimento de piscinas.

Os coletores evacuados também tem dois tipos diferentes os acoplados e os modulares, no primeiro é mais eficiente pois tem os tubos acoplados diretamente ao reservatório, sendo ideias para instalações de pequeno porte, enquanto o segundo é mais flexível com a possibilidade de expansão o que pode atender um volume maior de água sendo ideal para instalação de grande porte.

Os coletores planos têm superfície de absorção plana e são compostos por tubos ou aletas por onde circula a água a ser aquecida. A principal diferença entre eles é que no fechado tem-se uma cobertura transparente montado em uma caixa externa servindo de proteção e

isolamento para as aletas metálicas enquanto coletor plano aberto, fabricados em material termoplástico, não possui.

Figura 2-Coletores solares Plano aberto e fechado, respectivamente.



Fontes: Manual de Qualidade em instalações de Aquecimento Solar. Boas Práticas. (2009).

Os coletores abertos são caracterizados por serem mais utilizados em sistemas de aquecimento que operam com temperaturas mais baixas, como a aplicação em aquecimento de piscinas, enquanto o coletor fechado opera em temperaturas na faixa dos 60°C e são comumente usados no aquecimento de água para fins sanitários (TOLMASQUIM (2003).

Os coletores a vácuo são uma tecnologia mais recente e oferecem maior eficiência, eles são formados por uma ampola de vidro com dois tubos concêntricos que são montados em uma estrutura de alumínio, como mostrado na figura 2.

Figura 3-Coletores a vácuo modular e acoplado, respectivamente.



Fontes: ECOLOGIC® <disponível em <http://www.ecologicbr.com.br/>>.

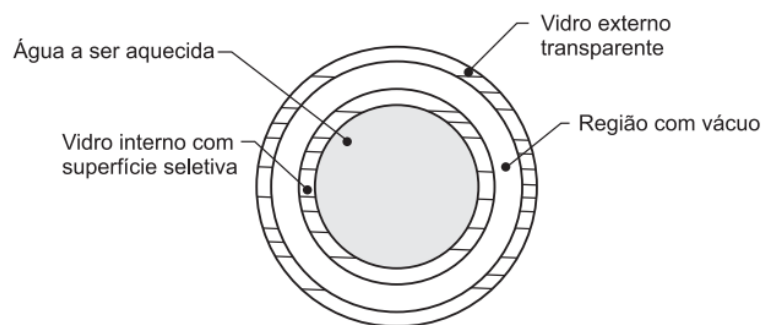
Os coletores a vácuo possuem 2 categorias: o modular e o acoplado. O coletor modular é o mais flexível permitindo que se tenha água aquecida rapidamente, uma de suas vantagens e a possibilidade de expansão, para atender um volume maior de água. Por isso, ele é ideal para instalações de grandes volumes de água aquecida como: hotéis, motéis, academias, hospitais,

entre outros; outra opção é o modular de alta pressão, que atinge temperaturas e pressões superiores.

Já o aquecedor acoplado é mais simples, e muito eficiente para aquecer a água. O sistema de tubos é acoplado diretamente ao reservatório, e a instalação desse aquecedor é mais prática. Perfeito para sistemas de pequeno porte como: residências, comércios, casas de campo, etc.

Nesses tipos de coletores o isolamento se dá pelo vácuo formado entre a parede do tubo externo e a parede do tubo interno, evitando assim as perdas por condução e convecção. O tubo mais interno é o tubo por onde circula a água a ser aquecida pela energia solar, a parede desse tubo recebe uma pintura seletiva com a finalidade de potencializar o uso da radiação captada.

Figura 4- Seção transversal do Tubo Solar a Vácuo.



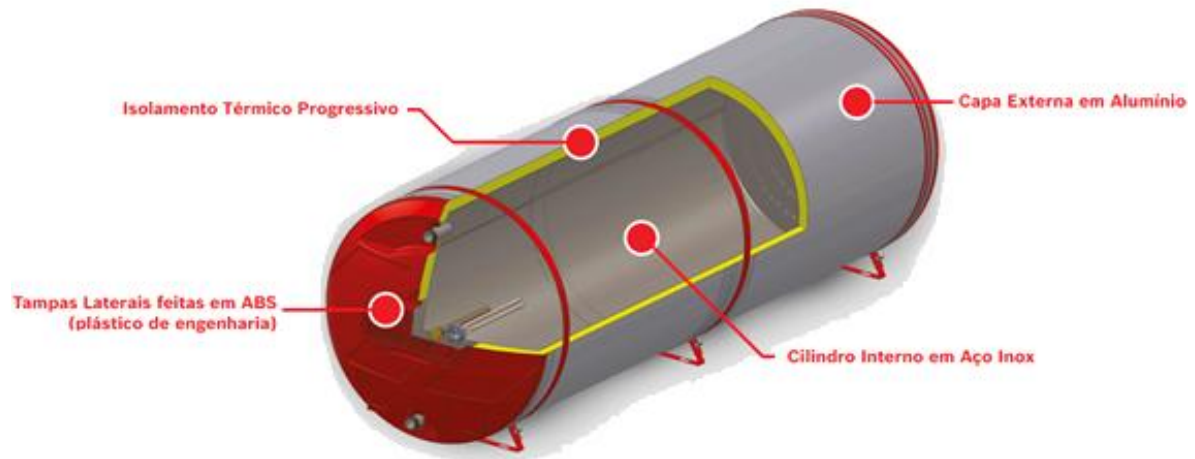
Fonte: Manual de montagem, instalação e operação. ECOLOGIC® Disponível em:
<<http://www.ecologicbr.com.br/>>, acesso em 19/09/2023.

Segundo CRUZ (2016) houve um crescimento na produção de coletores a vácuo (também utilizado para fins sanitários) com um aumento de 60,1% (DASOL, 2015b). CRUZ (2016) diz ainda que esse tipo de coletor continua sendo mais disseminado em países com níveis de irradiação solar mais baixos, como a China (SHC-IEA, 2015) e representam mais de 70% da capacidade instalada em operação.

2.1.2 Reservatório térmico

Os reservatórios térmicos são os elementos de armazenamento de água, geralmente eles são fabricados em aço inoxidável além de possuírem elementos de proteção mecânica e isolamento térmica. O material isolante pode ser Poliuretano (PU), lã de pedra ou lã de vidro enquanto a proteção mecânica é em alumínio e plástico de engenharia (ABS).

Figura 5-Reservatório Térmico



Fonte: Adaptado de HELIOTEK®. Disponível em: <<https://www.heliotek.com.br/para-casa/aquecedor-solar-para-banho/reservatorios-termicos/alta-e-baixa-pressao>> acesso em 19/09/2023.

De acordo SALES (2017) a NBR 15569 define o cálculo do volume do sistema de armazenamento por:

$$V_{armaz.} = \frac{V_{volume} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz.} - T_{ambiente})} \quad (1)$$

em que, $V_{armaz.}$ é o volume do sistema de armazenamento do sistema de aquecimento solar [m³], sugere-se que o volume de armazenamento seja maior ou igual a 75% do volume de consumo; V_{volume} é o volume de consumo de água quente na edificação; $T_{consumo}$ é a temperatura de consumo de utilização [°C], sugere-se a utilização de 40°C; $T_{armaz.}$ corresponde a temperatura de armazenamento da água [°C]; $T_{ambiente}$ é a temperatura média anual do local de instalação [°C].

Ainda de acordo com SALES (2017) no caso de o volume de armazenamento ser maior que o volume máximo dos reservatórios etiquetados existentes no mercado, faz-se necessário calcular a quantidade de reservatórios, de acordo com:

$$N_{reservatório} = \frac{V_{dia}}{V_{reservatório}} \quad (2)$$

em que, $N_{reservatório}$: número de reservatórios; V_{dia} : volume do consumo diário; $V_{reservatório}$: volume do reservatório.

2.1.3 Tubulação e Acessórios

Os sistemas também contam com elementos de interligação entre os coletores e reservatório, a tubulação, sendo que elas devem ser especificadas para suportar temperaturas

acima da temperatura ambiente. As tubulações devem ser fabricadas em materiais específicos como em Cobre, Cloreto de Polivinila (CPVC), Polipropileno Copolímero Random (PPR) ou Polietileno Reticulado (PEX).

Desses tipos de materiais indicados para suportar altas temperaturas e pressões, destacam-se o PPR e o PEX por conferirem características como: serem totalmente atóxicos, livres de corrosão, proporcionarem menor perda de carga e terem baixa condutividade térmica (SALES, 2017). Ainda de acordo com SALES (2017) por serem materiais eletricamente isolantes eles evitam a atração de sais presentes na água, o que reduz as incrustações na instalação.

Figura 6- Tubos e conexões em Polipropileno Copolímero Random (PPR).



Fonte: Adaptado de KRONA®. Disponível em: <<https://www.krona.com.br/blog/o-que-e-ppr-caracteristicas-e-beneficios/>> acesso em 19/09/2023.

2.1.4 Sistema de aquecimento auxiliar (apoio)

De acordo com a NBR 15569, o Sistema de Aquecimento Solar (SAS) deve contar com elementos de aquecimento auxiliar para o caso de dias com pouca insolação ou chuva. Em muitos casos os fabricantes de reservatórios térmicos oferecem resistências elétricas incorporadas para serem usadas como aquecimento auxiliar, mas há várias outras opções de apoio como os trocadores elétricos de calor ou aquecedores a gás.

Segundo o Ministério de Minas e Energia, no Brasil a maioria dos sistemas auxiliares das instalações são elétricos. Pode-se assim dividir o sistema elétrico em duas categorias: os

aquecedores de passagem, como o chuveiro, e os aquecedores de acumulação, que são as resistências elétricas embutidas no reservatório térmico SALES (2017) e BRASIL (2013).

Uma outra opção é o trocador de calor, ou bomba de calor, que têm seu princípio de funcionamento similar aos aparelhos condicionadores de ar, porém em ciclo invertido. De acordo com o manual Bombas de Calor HOT - Aquecimento de Água Residencial da INDUSTEK®, os seus trocadores produzem um Coeficiente de Desempenho (COP) 4, ou seja, produz cerca de quatro vezes mais energia de calor do que consomem em energia elétrica; tornando uma ótima opção para a utilização como apoio a sistemas de aquecimento solar se comparadas as resistências tradicionais que segundo PINHEIRO (2006) possuem um COP máximo de 1.

Figura 7- Bombas de Calor da INDUSTEK®.



Fonte: Manual Bombas de Calor HOT INDUSTEK®. Disponível em:
< <https://industek.com.br/bomba-de-calor-banho/> > acesso em 19/09/2023.

2.1.5 Bombas de circulação e Controlador Diferencial de Temperatura

Nos sistemas de aquecimento solar com capacidade acima de 1500L recomenda-se operar com o uso de um sistema de bombeamento para fazer a circulação da água entre o conjunto de coletores e o reservatório térmico. A eletrobomba deve ser capaz de suportar a operação em temperaturas elevadas, além disso, para caso do sistema de aquecimento com circulação forçada, faz-se necessário o uso de um Controlador Diferencial de Temperatura (CDT) para o seu acionamento.

Figura 8- Eletrobomba Sanitária ROWA.



Fonte: ROWA®. Disponível em: < <https://www.bombasrowa.com.br/produtos/51-s>>
acesso em 30/09/2023.

O CDT é o equipamento responsável por automatizar as bombas e elementos de aquecimento auxiliar, apoio, permitindo se configurar o modo de operação do sistema, sendo acionados pelo diferencial de temperatura.

Figura 9- CDT da Fullgauge® para aquecimento solar com dois apoios.



Fonte: Fullgauge®, disponível em: < <https://www.fullgauge.com.br/produto-microsol-2-plus>>
acesso em 13/12/2023.

2.2 ARRANJOS DO SISTEMA

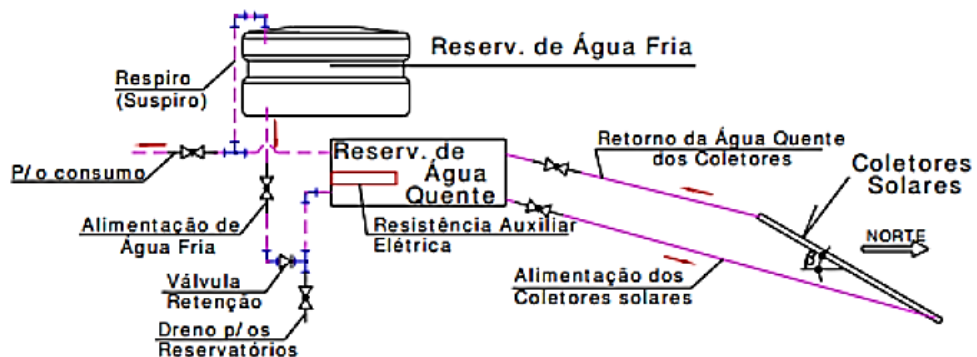
Os sistemas de aquecimento solar possuem diversos arranjos, de acordo com seu princípio de funcionamento em: i) ativo direto; ii) ativo indireto; iii) passivo direto; e iv) passivo indireto (ARAUJO, 2018).

2.2.1 Sistema passivo direto

São sistemas de circulação natural (termossifão), no qual o processo de circulação ocorre quando fluido se torna menos denso ao ser aquecido pelo sol, ocorrendo o escoamento

convectivo, conforme ilustrado na Figura 10. São os mais utilizados no caso brasileiro, pelo simples funcionamento e conveniência climática, para sistemas pequenos e de uso doméstico (ARAUJO, 2018, apud LIMA, 2003).

Figura 10-Esquema de sistema passivo direto.

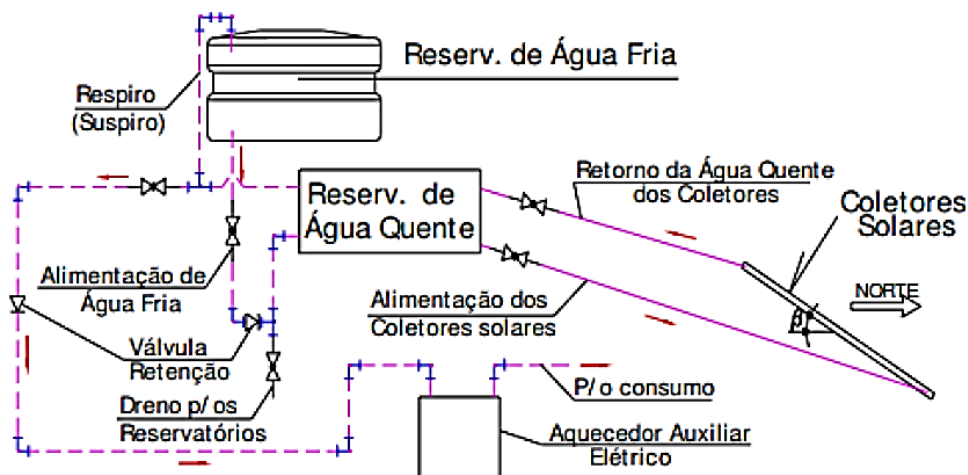


Fonte: LIMA, 2003.

2.2.2 Sistema passivo indireto

Neste sistema, ilustrado na Figura 11, é utilizado quando existe necessidade de proteção contra congelamento do fluido refrigerante. O trocador de calor, neste sistema, pode armazenar ou não certo volume de água quente para atender a demanda (LIMA, 2003).

Figura 11-Esquema de sistema passivo indireto



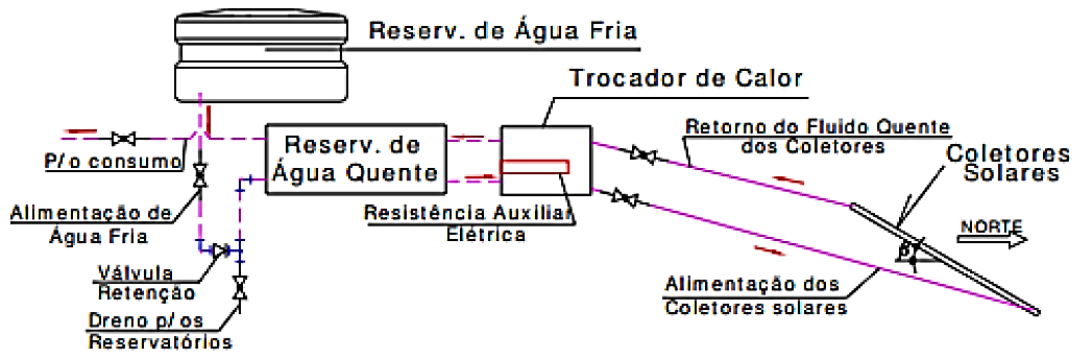
Fonte: LIMA, 2003.

2.2.3 Sistema ativo direto

Neste caso, é utilizada uma eletrobomba para o escoamento do fluido de trabalho, conforme ilustrado na Figura 12. Sendo assim, é permitido que o reservatório seja instalado em qualquer altura em relação aos coletores solares, mas requer maior cuidado com instrumentação que ative seu funcionamento (LIMA, 2003), aumentando o custo de implantação e ocorrendo consumo elétrico. Também permite proteção contra congelamento, uma vez que pode ser feita

a recirculação da água quente pela bomba, bem como a drenagem da água dos coletores (ARAUJO, 2018).

Figura 12-Esquema de sistema ativo direto

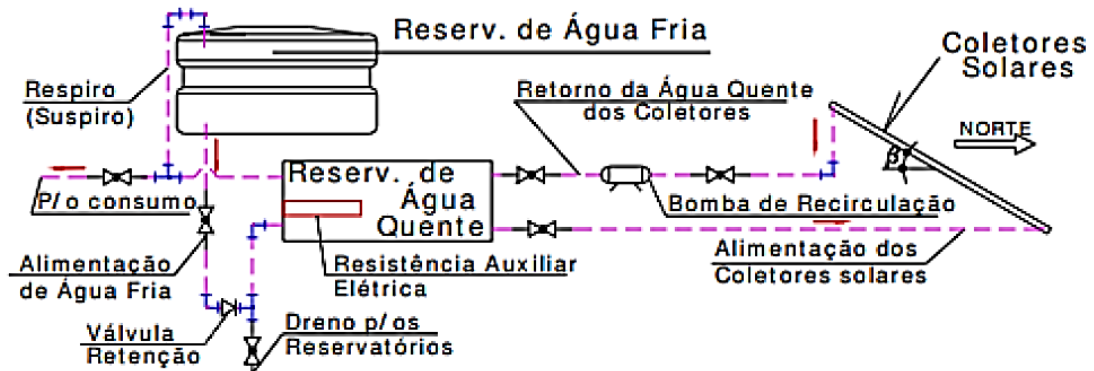


Fonte: LIMA, 2003.

2.2.4 Sistema ativo indireto

Segundo LIMA (2003), em regiões onde existe o risco do congelamento da água nas tubulações, deve ser utilizada a configuração ativa indireta. O trocador pode ser externo ou interno ao tanque, e pode ser utilizada uma ou duas bombas, possuindo maior flexibilidade na implantação (ARAUJO, 2018). Uma possibilidade é ilustrada na Figura 13.

Figura 13-Sistema ativo indireto



Fonte: LIMA, 2003

2.3 NORMAS TÉCNICAS PUBLICADAS

No Brasil há normas técnicas que especificam os produtos e equipamentos utilizados em sistemas para aproveitamento térmico da energia solar, onde tratam de materiais, requisitos técnicos, desempenho térmico e outros temas associados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO, 2017).

A seguir são elencadas as Normas técnicas e suas especificações:

- ABNT NBR 15747 – 1: 2009 Sistemas solares térmicos e seus componentes – Coletores solares – Parte 1: Requisitos gerais.

Esta norma especifica os requisitos de durabilidade, incluindo resistência mecânica, confiabilidade, segurança e desempenho térmico dos coletores solares de aquecimento de líquidos. Também inclui as disposições para a avaliação das conformidades com esses requisitos.

- ABNT NBR 15747 – 2: 2009 Sistemas solares térmicos e seus componentes – Coletores solares. Parte 2: Método de ensaio.

Esta parte da ABNT NBR 15747 especifica os métodos de ensaio para validação dos requisitos de durabilidade, confiabilidade e segurança e desempenho térmico dos coletores solares de aquecimento de líquidos, que são especificados na ABNT NBR 15747-1. Esta parte da Norma inclui também três métodos de ensaio para a caracterização do desempenho térmico dos coletores de aquecimento solar.

- ABNT NBR 15569: 2008 - Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – Projeto e instalação.

Esta Norma estabelece os requisitos para Sistema de Aquecimento Solar (SAS), considerando aspectos de concepção, dimensionamento, arranjo, instalação e manutenção, onde o fluido de trabalho é a água. A Norma se aplica aos sistemas onde a circulação de água nos coletores solares se faz por termossifão ou por circulação forçada. Esta Norma não se aplica ao aquecimento de água de piscinas nem de sistemas de aquecimento solar em circuito indireto.

Para elaboração de um projeto de Sistema de aquecimento solar, o mesmo deverá seguir algumas especificações que estão na NBR 15569, por exemplo, premissas de cálculo, dimensionamento, volume de armazenamento, fontes de abastecimento de água, estudo de sombreamento, área dos coletores, entre outras, num total de vinte passos a serem seguidos.

- ABNT 10185: 2013 – Reservatórios termossolares para líquidos destinados a sistemas de energia solar – Método de ensaio para desempenho térmico.

Esta Norma prescreve os métodos de ensaios que permitam avaliar o coeficiente global de fluxo de calor para ambientes, as capacidades de carga e descarga de reservatórios térmicos empregados em sistemas de utilização de energia solar.

2.4. REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE DO INMETRO PARA OS SAS

O Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, criou em 2011, através do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, a portaria nº 477 que tem

o Regulamento Técnico da Qualidade para Sistemas e Equipamentos de Aquecimento Solar de Água (SALES, 2017).

Tendo como objetivo de estabelecer os requisitos essenciais que devem ser atendidos pelos Sistemas de Aquecimento Solar de Água (SAS), com o foco em segurança, desempenho, tendo como visão a prevenção de acidentes e eficiência energética (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2011). O regulamento lista uma série de requisitos essenciais para coletores solares, reservatório térmico.

Dentre os requisitos para coletores está que:

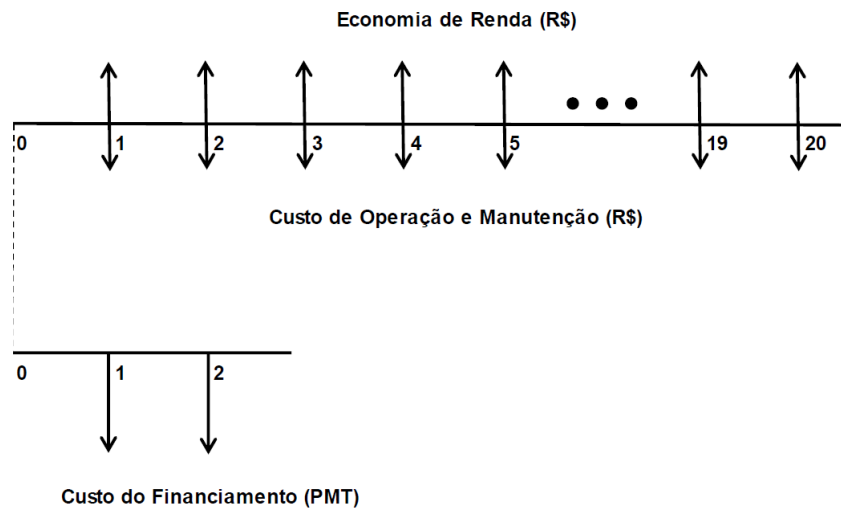
- O coletor solar deve suportar altos níveis de radiação sem falhas, como ruptura do vidro, colapso da cobertura de plástico, absorvedor de plástico fundido ou depósitos significativos na cobertura do coletor por emanção de gases do material do coletor.
- A caixa externa do coletor solar não pode permitir a penetração de água da chuva de forma a garantir sua capacidade funcional e durabilidade.

2.5 ENGENHARIA ECONÔMICA E POTENCIAL ECONÔMICO

A engenharia econômica é essencial quando se pretende avaliar investimentos e finanças em geral de uma empresa é o que afirma MOTTA et al. (2009). A decisão de um empreendimento sobre determinado investimento depende fortemente dos conceitos e ferramentas da Engenharia Econômica. O potencial econômico para CRUZ(2016) é resultado da análise de viabilidade financeira.

Para auxiliar no cálculo dos indicadores de análise de viabilidade financeira é feito o fluxo de caixa do projeto. Onde as setas para baixo, no exemplo mostrado da Figura 10, representam os passivos (custos) e as setas voltadas para cima os retornos (ativos) previstos. Como exemplos de passivos tem-se os custos de operação e manutenção do sistema como também seu custo de aquisição (pagos em parcelas fixas e iguais). Já o ativo, é representado, por exemplo, pela economia gerada pelo SAS, que é produto da tarifa de energia e da energia economizada pelo instalação do sistema de aquecimento solar.

Figura 14-Exemplo de fluxo de caixa utilizado no estudo.



Fonte: CRUZ (2016).

2.5.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O cálculo do VPL, segundo CRUZ (2016), também é denominado Valor Atual Líquido (VAL) e segue três regras gerais: A primeira é que o VPL reconhece que uma unidade monetária hoje vale mais que uma unidade monetária amanhã, pois a unidade monetária de hoje pode ser investida e arrecadar juros de imediato. Ou seja, a primeira regra do VPL reconhece o valor do dinheiro no tempo. Em segundo lugar, o cálculo do VPL depende unicamente dos fluxos de caixa previstos no projeto e do custo de oportunidade do capital. A última regra diz que: como os valores presentes são medidos em unidade monetária valorada hoje, pode-se somá-los (BREALEY & MYERS, 2003).

LOPES SILVA et al. (2014), definem o VPL como o método que traz todos os valores de custos e receitas do fluxo de caixa para o período inicial, descontando uma TMA. Os autores concluem que se o valor do VPL for positivo, a proposta é atrativa, caso contrário deve-se desconsiderar a proposta. Já para CRUZ (2016), o VPL representa o valor presente dos fluxos de caixa futuros (pagamentos e recebimentos) descontados a uma taxa de juros – que reflete o custo de oportunidade – menos o custo do investimento inicial.

A fórmula do VPL segue a equação 3 (BREALEY & MYERS, 2003).

$$VPL = C_0 + VP = C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}, \quad (3)$$

em que, C_0 é Fluxo de caixa líquido no instante inicial; VP é o Valor Presente; t é o Período no tempo; C_t o Fluxo de caixa líquido no período; e i é a Taxa de juros ou taxa de desconto que representa o custo de oportunidade do capital.

De acordo com a regra do VPL, projetos com $VPL > 0$ são considerados lucrativos e por isso devem ser aceitos. Logo, se esse estudo de caso apresentar um $VPL > 0$ considera-se que o SAS terá viabilidade econômica para ser instalado.

É possível perceber pela Equação 3 que a taxa de desconto (i) possui um papel fundamental no cálculo do VPL. Isto posto, i é uma variável-chave na análise de viabilidade financeira e é inversamente proporcional ao VPL, ou seja, quanto menor a taxa, maior o VPL. Logo, a aceitação ou não de um projeto depende diretamente de i e, portanto, sua escolha deve ter uma atenção especial.

Para calcular o valor presente líquido, descontam-se os fluxos de caixa esperados por uma taxa de juros. Segundo CRUZ (2016) esta taxa de juros é muitas vezes referida como taxa de desconto, taxa de atratividade, ou custo de oportunidade do capital. Ela é na verdade, a taxa oferecida por alternativas de investimento no mercado de capitais, de risco equivalente ao do projeto analisado (BREALEY & MYERS, 2003). Em outras palavras:

A taxa de juros mede o **custo de oportunidade** dos recursos – o valor dos usos alternativos de seu dinheiro. Portanto, todo fluxo de pagamentos deveria ser comparado à melhor alternativa possível com características semelhantes em termos de impostos, grau de risco e liquidez (VARIAN, 2006, pg. 213).

Segundo BREALEY & MYERS (2003), a taxa de desconto é o custo de oportunidade de investir no projeto ao invés de investir no mercado de capitais. A taxa reflete a preferência pelo presente dos agentes econômicos, sendo que diferentes agentes individuais têm medidas de preferência intertemporal diferentes

2.5.2 Tempo de Retorno – *Payback*

O *Payback* é o tempo de retorno do investimento considerando a desvalorização dos ganhos no tempo, ou seja, é uma avaliação do risco através do tempo. Segundo MARTINS (2022) A ideia deste indicador é selecionar o projeto que reponha o investimento no menor espaço de tempo, pois quanto mais prolongada é a recuperação do capital, mais incertezas e maiores as possibilidades de se ter um cenário diferente daquele considerado no início das análises.

Calcula-se o *Payback* a partir da equação 4.

$$Payback = \frac{\ln(1 - C \times \frac{i}{P})}{\ln(1+i)} \quad (4)$$

em que, *Payback* – tempo de retorno; *C* - Capital investido; *P* - Benefício a.a. e *i* - Taxa de juros a.a.

De acordo com OLINQUEVITCH et al (2006), no modelo de *payback* original, o valor do dinheiro no decorrer do tempo não é considerado. Porém é recomendável que seja determinado por meio de um fluxo de caixa descontado. Para tal, basta descontar os valores pela taxa mínima de atratividade (TMA) e verificar o prazo de recuperação do capital.

Assim, as regras para o *payback* descontado são idênticas às utilizadas no *payback* normal. Os valores do fluxo de caixa são tratados considerando uma taxa de desconto geralmente a taxa mínima de atratividade (TMA) (KASSAI et al., 2000). Observa-se, então, um período maior no *payback* descontado do que no *payback* original, o que obviamente se dá pela utilização da taxa de desconto. Sua confiabilidade, porém, é maior.

3 ESTUDO DE CASO

Os cálculos de demanda do sistema de aquecimento é baseado na NBR15569 e será um *retrofit* de um SAS anterior que se utilizava de coletores planos fechados. Com a necessidade do cliente em criar uma área de lazer no empreendimento foi disponibilizado uma área correspondente apenas a metade da área utilizada anteriormente. Proporcionando com isso um desafio maior no que refere-se a capacidade de conversão para atender a demanda do hotel. Assim foi realizado o estudo para determinar a tecnologia que melhor atendesse a demanda de aquecimento mesmo com uma redução de área disponível para a instalação dos coletores solares.

3.1 METODOLOGIA

Neste capítulo serão descritos os procedimentos metodológicos para levantamento de dados e análise da inserção do sistema de aquecimento solar de água com o uso da tecnologia de tubos a vácuo em um edifício comercial, e serão demonstradas as etapas do método utilizado neste estudo.

Este trabalho busca determinar a viabilidade técnica aliada a econômica da implantação do Sistema de Aquecimento Solar, a metodologia geral foi inspirada em SALES (2017) e CRUZ (2016). Os autores fizeram uma análise similar à proposta nesta dissertação, sendo que em seus trabalhos foram analisadas a energia solar térmica para atender unidades residenciais. Devido às diferenças entre os empreendimentos estudados, a metodologia adotada por eles foi adaptada

para o novo caso proposto. Aponta-se portanto que SALES (2017) e CRUZ (2016) serviram como inspiração.

3.2 O EMPREENDIMENTO

Neste trabalho foi utilizado como estudo de caso o *retrofit* de um SAS em um hotel. O mesmo possuía um sistema com tecnologia ultrapassada o qual apresentava desgaste, necessitando de manutenção e modernização. Além disso foi solicitado a engenharia a liberação de uma área para criação de um espaço de lazer (piscina e bar), resultando na redução do espaço disponível para instalação dos coletores solares.

Além disso, a edificação conta com 14 pavimentos sendo que destes 10 são reservados para hospedagem e os demais como apoio (recepção, restaurante, cozinha etc.). Cada um dos 10 andares tem *layout* diversificado e um total de 217 quartos servindo como dormitório, atendendo uma demanda de 1 pessoa adulta por quarto.

Figura 15-SAS em um hotel em Lauro de Freitas, Bahia.



Fonte: O autor.

3.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

O dimensionamento do sistema foi baseado na norma ABNT NBR 15569 que trata do sistema de aquecimento solar de água além da know-how da empresa. Ainda de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008) o método empregado está descrito no

fluxograma da anexo 2 e permite calcular a contribuição do sistema solar para a entrada de calor total necessária para cobrir as cargas térmicas.

O método descrito proporcionará o dimensionamento do tamanho de reservatórios e a área dos coletores para o estudo de caso, permitindo dimensionar todos os equipamentos utilizados na SAS.

Nos itens a seguir serão detalhados os procedimentos para cálculo do sistema de aquecimento solar da edificação com base no fluxograma apresentado.

3.4.1 Dimensionamento do reservatório do sistema central coletivo

De acordo com a NBR 15569 o dimensionamento dos reservatórios de armazenamento deve-se considerar as características de consumo, as temperaturas de armazenamento, a pressão de trabalho e as características da água. Além de se prever as variações volumétricas e térmicas da água sem que se ultrapasse as condições de trabalho do SAS.

O número total de pessoas na edificação é dado por:

$$N_{total} = N_{aptos} \times N_{pessoas} \quad (5)$$

em que, $N_{pessoas}$: número de pessoas por unidade; N_{aptos} : número de apartamentos na edificação; N_{total} : número total de pessoas na edificação. Assim $N_{total} = 217$ pessoas.

Para cálculo da demanda de água quente na edificação adotou-se o consumo diário por pessoa de 50 litros/dia conforme CREDER (2006), de acordo com a ABNT NBR 15569-2008 o volume necessário será dado por:

$$V_{consumo} = V_{pessoa} \times N_{total} \quad (6)$$

em que, V_{pessoa} : volume do consumo diário de água quente por pessoa para fins sanitários [L]; N_{total} : número total de pessoas residentes na edificação; $V_{consumo}$: volume de água quente consumido diariamente na edificação [L/dia]. Assim $V_{consumo} = 10.850$ [L/dia].

O volume tamanho do reservatório, volume armazenado, é dado por:

$$V_{armaz.} = \frac{V_{volume} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz.} - T_{ambiente})}, \quad (1)$$

em que, $V_{armaz.}$ - volume do sistema de armazenamento do sistema de aquecimento [m³]; V_{volume} - é volume de consumo referente a 75% do volume de água quente consumido diariamente na edificação, 8.137[L]; $T_{consumo}$ - temperatura de consumo de utilização, 40 [°C]; $T_{armaz.}$ - temperatura de armazenamento da água, 50 [°C]; $T_{ambiente}$ - temperatura média anual de Lauro

de Freitas, 26°C. Considerando a temperatura ambiente média 26°C, de acordo com o Anexo D da ABNT NBR 15569-2020. $V_{armaz.} = 4.747$ litros.

Como é sugerido, o volume armazenado deve suprir a demanda diária de no mínimo 75% de água quente demandada por dia na edificação o que totaliza 8137 L/dia, assim esse será o volume que define a capacidade dos reservatórios térmicos, $V_{armaz.} = 8.000$ litros, compostos por 4 reservatórios térmicos de 2.000L.

O cálculo da área coletora é baseado na irradiação média anual, não levando em consideração as condições extremas (baixa irradiação solar, inverno ou máxima ocupação), de acordo com SALES (2017) para esse tipo de tecnologia se considera as médias anuais das necessidades energéticas.

O cálculo da energia útil para aquecimento total de água quente utilizada diariamente na edificação será dado por:

$$A_{coletora} = \frac{(E_{\text{útil}} + E_{\text{perdas}}) \times FC_{\text{instal}} \times 4,89}{PMEE \times I_G} \quad (7)$$

em que, $PMEE$: é a produção média mensal de energia específica de acordo com o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), para o coletor a vácuo da ECOLOGIC modelo BNP-1-30 o $PMEE$ é de 77,4; $E_{\text{útil}}$: energia útil, em quilowatts hora por mês[kWh/mês]; E_{perdas} : perdas de energia útil, recomenda-se 15% de perdas da $E_{\text{útil}}$, valores em quilowatts hora por mês[kWh/mês]; I_G : é o valor da irradiação global média anual diária do local de instalação, 6,7 [kWh/m²], de acordo com o anexo D da ABNT NBR15569-2020.

FC_{instal} : é o fator de correção para a inclinação e orientação do coletor, dado por:

$$FC_{\text{instal}} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{\text{ótimo}})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \gamma^2]} \quad (8)$$

em que, β é a inclinação dos coletores, 30°; $\beta_{\text{ótimo}}$ a inclinação ótima dos coletores, 22°; γ é o ângulo de orientação dos coletores em relação ao norte geográfico, 45°. Assim $FC_{\text{instal}} = 1,085$.

A energia útil é calculada por:

$$E_{\text{útil}} = \frac{(V_{\text{armazen.}} \times \rho \times C_p \times (T_{\text{armazen.}} - T_{\text{ambiente}}) \times 30 \text{ dias}}{3600} \quad (9)$$

em que, ρ (rô) é a densidade da água, 1kg/L e C_p é o calor específico da água e vale 4,18 kJ/kg°C, então $E_{\text{útil}} = 3.968,4$ kWh/mês.

Uma vez obtido o valor da energia útil mensal o próximo passo é buscar na Consumo/Eficiência Energética do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (2021), que disponibiliza todos os fabricantes credenciados no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), o fabricante e respectivo modelo que atenda as especificações de projeto.

Para esse estudo de caso o coletor a ser escolhido deve ser do tipo a vácuo, premissa de projeto, sendo do fabricante ECOLOGIC® modelo BNP-1-30. Esse modelo tem uma área de 4,47 m², produção média mensal 346,15 kWh, com uma Eficiência Energética média de 70,9 % e eficiência térmica diária de 72,1%.

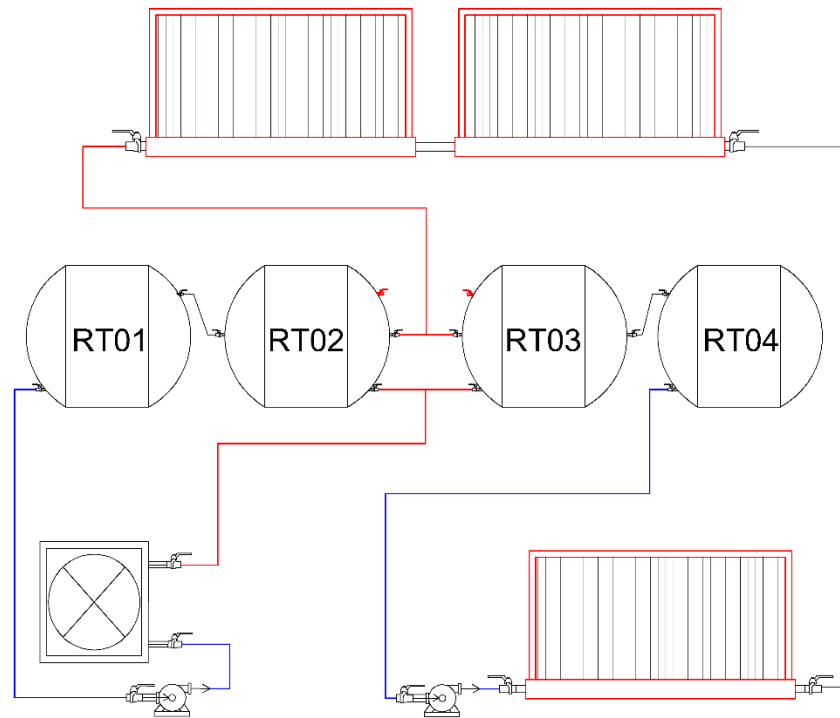
Tem-se assim a área da superfície coletora $A_{coletora} = 46,7$ m². Mesmo com a restrição solicitada o hotel dispõe de 144m² de área para a instalação do sistema. Mais algumas limitações foram levantadas dado a necessidade de espaço reservados para demais equipamentos, espaço para manutenções e sombreamento. Então, pôde-se determinar qual melhor arranjo do conjunto de coletores para que se tenha o melhor aproveitamento da capacidade de absorção de calor pelos coletores a fim de se evitar perdas por sombreamento.

De acordo com o exposto na seção 2.1.3, as tubulações que interligam o SAS devem ser compostas de materiais que resistam a operação em temperaturas elevadas. Para a interligação entre água fria e entre os reservatórios foi utilizado o PPR de 60mm de diâmetro, por ser um material de alta resistência e durabilidade que propicia menores incrustações além de ser mais resistentes. Por estarem em ambiente externo, expostos a radiação, a eles será aplicada uma camada de protetora com material de proteção específico.

Para a conexão entre coletores e reservatórios será utilizado o PEX de 32 mm de diâmetro, material de alta resistência e durabilidade com mesmas características do PPR, porém com fácil instalação por serem mais leves e flexíveis. De acordo com o exposto por SALES (2017), o manual de instalação de SAS da Eletrobrás Procel Solar (2012) recomenda que toda tubulação por onde circula água quente seja isolado termicamente, para isso os materiais mais utilizados são o polietileno expandido, a lã de rocha e a lã de vidro, a qual protege dos raios UV (ultravioleta) do sol, além de proteção da chuva e dos ventos.

Foi dimensionado que a quantidade de reservatórios necessários para suprir a demanda de água na edificação fosse de 4 reservatórios de 2.000 litros cada, com isso pôde-se determinar que 2 reservatórios, RT01 e RT04, das extremidades, como mostrado na figura 13, serão os que receberão água fria e se comunicarão com os 2 reservatórios centrais, RT02 e RT03. Estes se comunicam com os coletores recebendo a água aquecida e a disponibiliza para o consumo.

Figura 16-Diagrama simplificado do sistema.



Fonte: O autor.

Além disso, o hotel terá um sistema de recirculação, neste uma bomba irá fazer a água recircular por todos os andares e com isso diminuir o tempo de espera até que a água aquecida chegue aos pontos de consumo. A bomba de recirculação será comandada por um CDT que a acionará sempre que a água disponível ao consumo estiver 2°C abaixo da temperatura de consumo, que é 40°C .

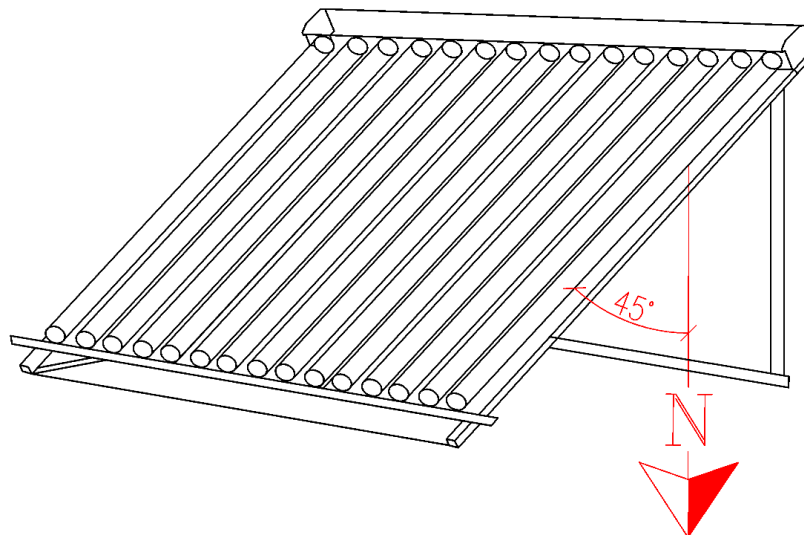
Assim como descrito em SALES (2017), em cada unidade o chuveiro será alimentado por uma tubulação de água fria que virá do reservatório principal do prédio e por outra de água quente que virá do sistema de aquecimento solar. Neste tipo de arquitetura é utilizado um misturador tipo Y embutido na parede, com o qual o usuário pode escolher a temperatura mais confortável para banho.

Em dias ou horários com pouca radiação solar para fazer o aquecimento da água haverá um aquecedor elétrico do tipo **bomba de calor** acoplado ao sistema de acumulação e ligado à rede elétrica, funcionando como aquecimento auxiliar. A bomba de calor é comandada por um controlador diferencial de temperatura, o mesmo CDT do SAS, assim ela atuará fornecendo o aquecimento necessário quando a temperatura estiver abaixo do valor determinado no *Setpoint* e quando não for detectado aquecimento pelo sistema de aquecimento solar.

O conjunto de coletores a vácuo foram posicionados de forma a ter uma inclinação para resultar no melhor aproveitamento da radiação solar, evitando sombreamento e com área disponível para se realizar manutenções. De acordo com SALES (2017), usa-se como regra básica para instalação uma inclinação equivalente em relação a latitude da região onde será feita a instalação, somando-se mais 10°. Neste estudo de caso a cidade de Lauro de Freitas/BA, onde fica localizado o empreendimento, tem uma latitude de aproximadamente 12° de acordo com o site Google Maps (2023). Portanto os coletores devem ser instalados com no mínimo 22° de inclinação de instalação, porém, os suportes de instalação disponibilizados pelo fabricante têm um ângulo de inclinação dos coletores de 30°.

Além disso foi encontrada a posição do Norte Geográfico em relação ao empreendimento nessa posição a instalação das placas fica a aproximadamente 45° do norte geográfico, a posição norte seria a melhor posição que permitiria a maior incidência do sol ao longo dos dias em todas as estações do ano o que não foi possível de realizar devido a limitações de área do empreendimento e espaços para manutenção do sistema e da edificação conforme a figura 11.

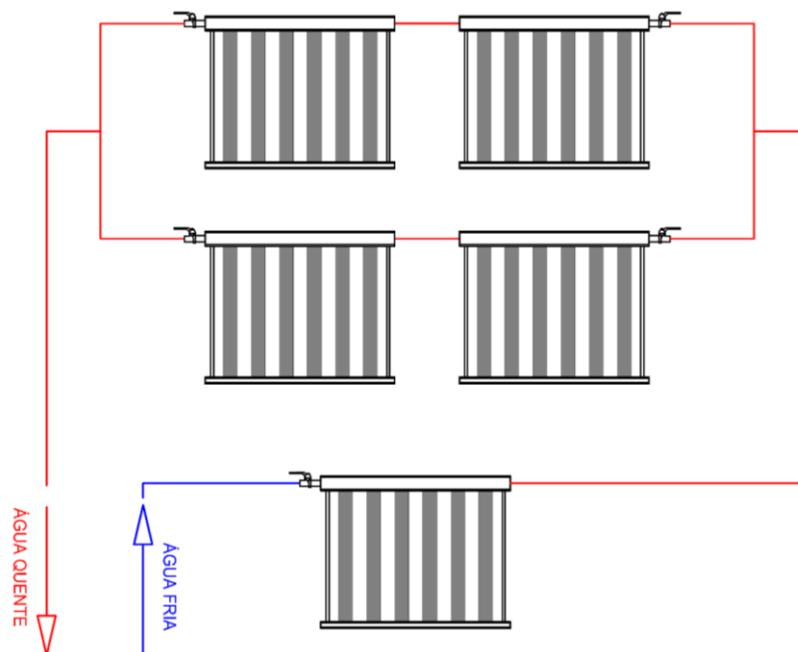
Figura 11-Posição dos Coletores em relação ao norte geográfico.



Fonte: O autor.

Visando um melhor aproveitamento da área disponível para montagem propõe-se que os coletores estejam interligados em ligação mista; série e paralelo, conforme ilustra a imagem da figura 12. Buscando-se assim manter o equilíbrio hidráulico e a melhor eficiência térmica (SALES, 2017).

Figura 12-Exemplo de associação de coletores mista com coletores a vácuo.



Fonte: O autor.

3.5 CUSTO PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

Para a implantação do sistema, foi feita uma cotação de valores com os fornecedores e fabricantes dos principais componentes de sistemas de aquecimento solar de água. Essa cotação procurou buscar os preços dos coletores e demais componentes que correspondem ao estudo de caso, os valores serão demonstrados no quadro 1, a seguir.

O quadro 1 mostra os valores reais da implantação do sistema de aquecimento solar de água na edificação do estudo. Os valores foram obtidos a partir da tomada de preços em uma pesquisa feita com os principais fornecedores parceiros além dos custos diretos e indiretos da empresa.

Quadro 1-Custo para a implantação do SAS.

Material	Qtd.	Unid.	Valor Unitário	Subtotal
Reservatórios térmicos Alta Pressão	4	UN	28.000,00	112.000,00
Bomba Centrífuga	8	UN	800,00	6.400,00
Coletor Modular Vertical 30 tubos	10	PC	3.800,00	38.000,00
Reservatório 250 L	1	UN	209,00	209,00
Tubos e conexões 50mm PPR	120	M	60,00	7.200,00
Tubo e conexões 25mm PEX	120	M	100,00	12.000,00
Controlador Fullgauge (CDT)	2	UN	800,00	1.600,00
Quadro de comando	1	PC	6.000,00	6.000,00
Bomba de Calor HOT IDH120	1	UN	45.000,00	45.000,00
Mão de obra	1	-	20.000,00	20.000,00
			TOTAL	R\$ 248.409,00

Fonte: O autor.

3.6 ESTIMATIVA DE ENERGIA ECONOMIZADA COM A IMPLANTAÇÃO DO SAS

Assim como em SALES (2017), a metodologia utilizada será baseada no Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética aprovado pela Resolução Normativa (REN) nº 300 da Agência Nacional de Energia Elétrica. Os dados para fins de cálculos foram retirados de informações disponibilizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica e pela Caixa Econômica Federal.

Para calcular a energia economizada no empreendimento em estudo primeiro se multiplica o número total de moradores do edifício, que é de 217 habitantes pelo número de banhos diários de cada unidade residencial. Estima-se que cada leito terá apenas 1 hóspede, resultando assim num total de 2 banhos diários; logo o número total de banhos (NTB) no hotel será de 434 banhos diários.

Com esses dados pode-se calcular a energia economizada na edificação, a qual é expressa pela seguinte por:

$$EE = FS \times PC \times NTB \times \frac{T}{60} \times 365 \quad (10)$$

em que, *EE*- energia economizada; *FS* - fração solar de energia consumida para o aquecimento de água fornecida pelo sistema solar, 70%, de acordo com os procedimentos do Programa de Eficiência Energética da ANEEL (2019); *NB* - número médio de banhos por unidade residencial de acordo com o Sistema de Posses e Hábitos de Uso de Aparelhos Elétricos (2007) são de 2

banhos por dia por pessoa; T - o tempo de duração do banho, adotado 10 minutos; PC - potência máxima típica dos chuveiros utilizados será de 5.400 W, de acordo com a Eletrobrás Procel (2009).

Sendo determinado assim a energia economizada com a implantação do sistema de aquecimento solar $EE = 99.798,3$ KWh/ano.

Comparativamente ao chuveiro elétrico, observa-se uma economia para o empreendimento, o qual é obtido através do produto da economia de energia economizada, calculada anteriormente, pelo valor da tarifa de fornecimento para clientes do grupo A4, a qual é definida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para o ano base de 2022/23 e varia de acordo com cada concessionária. A equação 11 demonstra o cálculo do benefício.

$$\text{Valor do Benefício} = 99.798,3 \text{ KWh/ano} \times PF \quad (11)$$

PF é o preço final da energia elétrica mais impostos.

De acordo com a Companhia Elétrica da Bahia (COELBA) atualmente existem dois tipos de tarifas disponíveis para um cliente com o fornecimento em Média ou Alta tensão: Binômica (Grupo A) e Tarifa Monômica (Grupo B Optante); o modelo tarifário B é composto apenas pelo consumo (kWh), já a Binômica é um modelo com tarifa definida com preços diferentes de acordo o horário de consumo: na ponta ou fora de ponta. O empreendimento em estudo tem o modelo tarifário Horo sazonal Horária Verde A4 (Grupo A), a tarifa é definida pela a Tabela de Tarifas De Energia Elétrica Grupo A da COELBA, válida a partir de 2022.

O seu preço final ao consumidor é dado por:

$$PF = \frac{\text{Tarifa de Energia}}{1 - (\text{ICMS} + \text{PIS} / \text{COFINS}\%) } \quad (12)$$

O preço final será a média Tarifa de Energia, para os preços na ponta e fora de ponta, acrescido de impostos $PF = R\$2,33$.

Assim o valor do benefício será:

$$\text{Valor do Benefício} = R\$ R\$ 232.530,04 \text{ a. a}$$

3.7 TEMPO DE RETORNO (*PAYBACK*)

O tempo de retorno da implantação SAS para os valores de investimento e benefício na edificação é de total interesse para os proprietários do empreendimento para tomada de decisão no investimento da tecnologia. Para calcular o tempo de retorno, será utilizado uma taxa mínima de juros, a Selic, de 12,25% a.a. (Banco Central Brasil, 11/2023). O *Payback* é dado por:

$$\text{Payback} = \frac{\ln(1 - C \times \frac{i}{P})}{\ln(1 + i)} \quad (4)$$

Para o cálculo do tempo de retorno foi considerado apenas a energia economizada com o benefício da fração solar, 70% do total, e seu memorial de cálculo se encontra no anexo 2.

Payback = 1,21 anos

Podendo ser considerado um tempo de retorno satisfatório, em curto prazo.

3.8 VALOR PRESENTE LÍQUIDO

O valor presente se dá pela equação 3 apresentada na seção 2.5.1, e seguindo a regra do VPL, projetos com $VPL > 0$ são considerados lucrativos.

$$VPL = C_0 + VP = C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}, \quad (3)$$

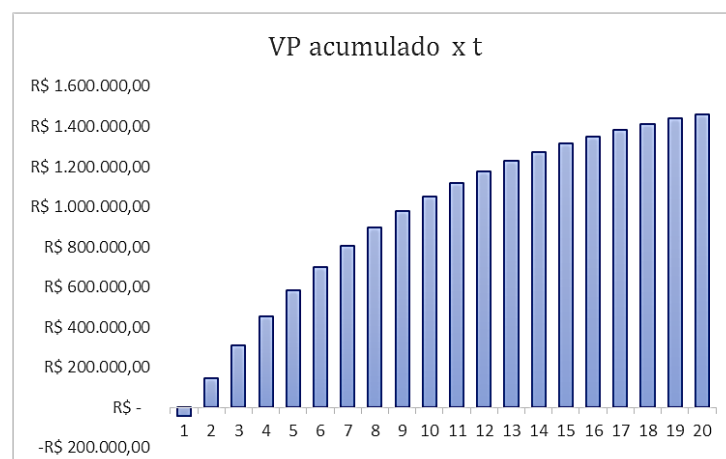
Assim, para determinar o VPL foi montado uma tabela, Quadro 2, com os fluxos de caixa atualizados com os valores dos benefícios trazidos para o valor presente, então observou-se um $VPL > 0$, para um taxa de juros (i) de 12,25% correspondente inflação oficial.

Quadro 2 – Fluxo de Caixa esperado do empreendimento

t	Fluxo de Caixa	VP	VPL = Co + Ct/(1+i)^t	t	Fluxo de Caixa	VP	VPL = Co + Ct/(1+i)^t
1	R\$ 232.530,04	R\$ 207.153,71	-R\$ 41.255,29	11	R\$ 232.530,04	R\$ 65.227,27	R\$ 1.117.327,88
2	R\$ 232.530,04	R\$ 184.546,74	R\$ 143.291,45	12	R\$ 232.530,04	R\$ 58.108,93	R\$ 1.175.436,81
3	R\$ 232.530,04	R\$ 164.406,89	R\$ 307.698,34	13	R\$ 232.530,04	R\$ 51.767,42	R\$ 1.227.204,22
4	R\$ 232.530,04	R\$ 146.464,94	R\$ 454.163,27	14	R\$ 232.530,04	R\$ 46.117,97	R\$ 1.273.322,19
5	R\$ 232.530,04	R\$ 130.481,01	R\$ 584.644,29	15	R\$ 232.530,04	R\$ 41.085,05	R\$ 1.314.407,24
6	R\$ 232.530,04	R\$ 116.241,44	R\$ 700.885,72	16	R\$ 232.530,04	R\$ 36.601,38	R\$ 1.351.008,62
7	R\$ 232.530,04	R\$ 103.555,85	R\$ 804.441,57	17	R\$ 232.530,04	R\$ 32.607,02	R\$ 1.383.615,65
8	R\$ 232.530,04	R\$ 92.254,65	R\$ 896.696,22	18	R\$ 232.530,04	R\$ 29.048,57	R\$ 1.412.664,22
9	R\$ 232.530,04	R\$ 82.186,77	R\$ 978.882,99	19	R\$ 232.530,04	R\$ 25.878,46	R\$ 1.438.542,68
10	R\$ 232.530,04	R\$ 73.217,61	R\$ 1.052.100,60	20	R\$ 232.530,04	R\$ 23.054,31	R\$ 1.461.596,98
Valor do Investimento Co = R\$248.409,0							

Fonte: O autor.

Figura 17-Gráfico Valor Presente acumulado versus tempo.



Fonte: O autor.

Objetivando a análise de sensibilidade, insere-se a seguir uma variação na taxa i e no benefício anual.

Quadro 3 - Efeito da variação da taxa i .

t	Fluxo de Caixa	VP	VPL = Co + Ct/(1+i)^t	t	Fluxo de Caixa	VP	VPL = Co + Ct/(1+i)^t
0	-R\$ 248.409,00	-	-R\$ 248.409,00	0	-R\$ 248.409,00	-	-R\$ 248.409,00
1	R\$ 232.530,04	R\$ 190.598,39	-R\$ 57.810,61	1	R\$ 232.530,04	R\$ 215.305,59	-R\$ 33.103,41
2	R\$ 232.530,04	R\$ 156.228,19	R\$ 98.417,58	2	R\$ 232.530,04	R\$ 199.357,03	R\$ 166.253,62
3	R\$ 232.530,04	R\$ 128.055,89	R\$ 226.473,48	3	R\$ 232.530,04	R\$ 184.589,84	R\$ 350.843,47
4	R\$ 232.530,04	R\$ 104.963,85	R\$ 331.437,33	4	R\$ 232.530,04	R\$ 170.916,52	R\$ 521.759,99
5	R\$ 232.530,04	R\$ 86.035,94	R\$ 417.473,27	5	R\$ 232.530,04	R\$ 158.256,04	R\$ 680.016,02
6	R\$ 232.530,04	R\$ 70.521,26	R\$ 487.994,53	6	R\$ 232.530,04	R\$ 146.533,37	R\$ 826.549,39
7	R\$ 232.530,04	R\$ 57.804,31	R\$ 545.798,85	7	R\$ 232.530,04	R\$ 135.679,04	R\$ 962.228,44
8	R\$ 232.530,04	R\$ 47.380,59	R\$ 593.179,43	8	R\$ 232.530,04	R\$ 125.628,75	R\$ 1.087.857,18
9	R\$ 232.530,04	R\$ 38.836,55	R\$ 632.015,98	9	R\$ 232.530,04	R\$ 116.322,91	R\$ 1.204.180,10
10	R\$ 232.530,04	R\$ 31.833,23	R\$ 663.849,21	10	R\$ 232.530,04	R\$ 107.706,40	R\$ 1.311.886,50
11	R\$ 232.530,04	R\$ 26.092,81	R\$ 689.942,02	11	R\$ 232.530,04	R\$ 99.728,15	R\$ 1.411.614,64
12	R\$ 232.530,04	R\$ 21.387,55	R\$ 711.329,58	12	R\$ 232.530,04	R\$ 92.340,88	R\$ 1.503.955,52
13	R\$ 232.530,04	R\$ 17.530,78	R\$ 728.860,36	13	R\$ 232.530,04	R\$ 85.500,81	R\$ 1.589.456,34
14	R\$ 232.530,04	R\$ 14.369,49	R\$ 743.229,85	14	R\$ 232.530,04	R\$ 79.167,42	R\$ 1.668.623,76
15	R\$ 232.530,04	R\$ 11.778,27	R\$ 755.008,12	15	R\$ 232.530,04	R\$ 73.303,17	R\$ 1.741.926,92
16	R\$ 232.530,04	R\$ 9.654,32	R\$ 764.662,45	16	R\$ 232.530,04	R\$ 67.873,30	R\$ 1.809.800,22
17	R\$ 232.530,04	R\$ 7.913,38	R\$ 772.575,82	17	R\$ 232.530,04	R\$ 62.845,65	R\$ 1.872.645,87
18	R\$ 232.530,04	R\$ 6.486,38	R\$ 779.062,20	18	R\$ 232.530,04	R\$ 58.190,42	R\$ 1.930.836,29
19	R\$ 232.530,04	R\$ 5.316,70	R\$ 784.378,90	19	R\$ 232.530,04	R\$ 53.880,02	R\$ 1.984.716,31
20	R\$ 232.530,04	R\$ 4.357,95	R\$ 788.736,85	20	R\$ 232.530,04	R\$ 49.888,90	R\$ 2.034.605,21
	Taxa i	22,00%			Taxa i	8,00%	

Fonte: O autor.

Quadro 4 - Efeito da queda no benefício anual e do aumento do custo inicial do sistema, respectivamente.

t	Fluxo de Caixa	VP	VPL = Co + Ct/(1+i)^t	t	Fluxo de Caixa	VP	VPL = Co + Ct/(1+i)^t
0	-R\$ 248.409,00	-	-R\$ 248.409,00	0	-R\$ 496.818,00	-	-R\$ 496.818,00
1	R\$ 116.265,02	R\$ 103.576,86	-R\$ 144.832,14	1	R\$ 232.530,04	R\$ 207.153,71	-R\$ 289.664,29
2	R\$ 116.265,02	R\$ 92.273,37	-R\$ 52.558,78	2	R\$ 232.530,04	R\$ 184.546,74	-R\$ 105.117,55
3	R\$ 116.265,02	R\$ 82.203,45	R\$ 29.644,67	3	R\$ 232.530,04	R\$ 164.406,89	R\$ 59.289,34
4	R\$ 116.265,02	R\$ 73.232,47	R\$ 102.877,14	4	R\$ 232.530,04	R\$ 146.464,94	R\$ 205.754,27
5	R\$ 116.265,02	R\$ 65.240,51	R\$ 168.117,64	5	R\$ 232.530,04	R\$ 130.481,01	R\$ 336.235,29
6	R\$ 116.265,02	R\$ 58.120,72	R\$ 226.238,36	6	R\$ 232.530,04	R\$ 116.241,44	R\$ 452.476,72
7	R\$ 116.265,02	R\$ 51.777,92	R\$ 278.016,28	7	R\$ 232.530,04	R\$ 103.555,85	R\$ 556.032,57
8	R\$ 116.265,02	R\$ 46.127,33	R\$ 324.143,61	8	R\$ 232.530,04	R\$ 92.254,65	R\$ 648.287,22
9	R\$ 116.265,02	R\$ 41.093,39	R\$ 365.236,99	9	R\$ 232.530,04	R\$ 82.186,77	R\$ 730.473,99
10	R\$ 116.265,02	R\$ 36.608,81	R\$ 401.845,80	10	R\$ 232.530,04	R\$ 73.217,61	R\$ 803.691,60
11	R\$ 116.265,02	R\$ 32.613,64	R\$ 434.459,44	11	R\$ 232.530,04	R\$ 65.227,27	R\$ 868.918,88
12	R\$ 116.265,02	R\$ 29.054,46	R\$ 463.513,90	12	R\$ 232.530,04	R\$ 58.108,93	R\$ 927.027,81
13	R\$ 116.265,02	R\$ 25.883,71	R\$ 489.397,61	13	R\$ 232.530,04	R\$ 51.767,42	R\$ 978.795,22
14	R\$ 116.265,02	R\$ 23.058,98	R\$ 512.456,60	14	R\$ 232.530,04	R\$ 46.117,97	R\$ 1.024.913,19
15	R\$ 116.265,02	R\$ 20.542,53	R\$ 532.999,12	15	R\$ 232.530,04	R\$ 41.085,05	R\$ 1.065.998,24
16	R\$ 116.265,02	R\$ 18.300,69	R\$ 551.299,81	16	R\$ 232.530,04	R\$ 36.601,38	R\$ 1.102.599,62
17	R\$ 116.265,02	R\$ 16.303,51	R\$ 567.603,32	17	R\$ 232.530,04	R\$ 32.607,02	R\$ 1.135.206,65
18	R\$ 116.265,02	R\$ 14.524,29	R\$ 582.127,61	18	R\$ 232.530,04	R\$ 29.048,57	R\$ 1.164.255,22
19	R\$ 116.265,02	R\$ 12.939,23	R\$ 595.066,84	19	R\$ 232.530,04	R\$ 25.878,46	R\$ 1.190.133,68
20	R\$ 116.265,02	R\$ 11.527,15	R\$ 606.593,99	20	R\$ 232.530,04	R\$ 23.054,31	R\$ 1.213.187,98
	Benefício anual	R\$ 116.265,02					

Fonte: O autor.

4 ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Foi observado que a implantação de coletores solares a vácuo para aquecimento de água permitirá a manutenção na redução dos gastos com energia elétrica se comparado ao valores gasto caso fosse utilizada como opção técnica a utilização dos chuveiros elétricos.

O dimensionamento apresentado evidencia que o sistema apresenta viabilidade técnica para atender a demanda de energia para aquecer a quantidade de água necessária da edificação.

Em relação ao total de energia economizada, a equação 10, apresentada no item 3.6, demonstra a economia em um ano de utilização do SAS para aquecimento de água.

Dado o crescente interesse na questão socioambiental, ao evitar tecnologias que utilizam de derivados de combustíveis fósseis, e levando em consideração a vantagem econômica sobre a utilização do chuveiro elétrico para aquecimento sendo que em dias com pouca incidência solar os usuários possam ter conforto térmico será utilizado o trocador elétrico de calor, denominadas bombas de calor, que tem COP 4 - valor elevado - se comparado ao chuveiro elétrico que tem COP máximo de 1 (100%).

A cotação para implantação apresentada no quadro 1 mostra os valores considerando a qualidade de materiais que a empresa já utiliza nas suas instalações e preços de mercado obtido com os parceiros. Como as tubulações em PPR e PEX, por serem mais resistentes e com mão de obra mais simples. Porém há vários outros tipos e valores disponíveis, por exemplo, a tubulação pode ser feita em cobre que é um material mais baratos, porém, o tempo da mão de obra para sua instalação é mais elevado o que acaba por ser tornar mais oneroso, e ainda de acordo com o setor de engenharia da empresa é preciso mão de obra especializada.

Com a equação 4 e o quadro 2, foi possível determinar o tempo de retorno do investimento feito para implantação do sistema, aproximadamente 1,2 anos, ficando claro a sua atratividade a curto prazo e considerável retorno financeiro.

Com as análises procedidas neste estudo, foi possível verificar que o aquecimento solar de água promove uma economia efetiva de energia para o consumidor final, desde que sejam adotadas boas práticas nos projetos, dimensionamento e instalação adequada, além de reduzir a demanda de energia elétrica na ponta, o que é muito vantajoso para um consumidor que possui uma tarifa diferenciada como a do grupo A.

A análise dos quadros 3 e 4 mostra que mesmo com a variações da taxa i , do valor do benefício, bem como do custo inicial de aquisição do sistema o VPL continua sendo positivo, demonstrando a viabilidade econômica do projeto. E mesmo que o *Payback* tenha se elevado este aumento não acarretaria em uma depreciação tão expressiva deste índice.

Este estudo tem como pretensão gerar conclusões sobre a troca de chuveiros elétricos por sistemas de coletores solares a vácuo, porém com viabilidade do uso desta tecnologia dentro das premissas especificadas. Há a evidencia da viabilidade técnica e financeira dentro do escopo definido, o que demonstra a possibilidade do investimento em novas fontes de energias renováveis para o aquecimento de água mesmo com determinadas restrições.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Brasil, a utilização da energia solar para aquecimento de água com a utilização da tecnologia com tubos a vácuo ainda caminha em passos lentos, para alcançar todo o seu potencial de aproveitamento, comparado a outros países que utilizam a tecnologia em mais de 70% das instalações de SAS e a mais tempo.

Dado o alto valor de investimento o uso de coletores com essa tecnologia pode ainda ser pouco atrativa, mas em casos como o deste estudo pode ser avaliado como possível de utilização com viabilidade financeira. Ressalta-se que Salvador/BA, de acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Hotéis (ABIHBA), conta 25 mil leitos em hotéis de cadeias nacionais e internacionais e mais investimentos serão feitos nos próximos anos.

Para se ter uma ideia da importância da tecnologia, se considerarmos os 25 mil leitos disponíveis utilizando a tecnologia solar para suprir 70% da demanda anual de água quente (somente para o banho) significaria uma redução no consumo anual de energia da ordem de 12.000 MWh e uma redução de emissão de mais de 60.000 toneladas CO₂ na atmosfera por ano. Além disso, este potencial seria mais que o dobro caso a energia solar fosse também utilizada para aquecimento de água para cozinhas, lavanderias e piscinas.

Com a viabilidade econômica e sustentável da implantação de sistemas de coletores solares, no Brasil foram fomentadas leis municipais que obrigam ou facilitam o uso da tecnologia, e com isso foram criados critérios, normas e parâmetros para os equipamentos e instalação.

O estudo mostrou também a junção dos aquecedores elétricos mais eficientes, Bomba de Calor, utilizado para aquecer água para banho, com coletores solares a vácuo que aquecem água pela radiação solar e a armazena em reservatórios térmicos. Senão de forma integral, pelo menos parcial, como o sistema híbrido implantado neste trabalho.

Para trabalhos futuros sugere-se a pesquisa sobre aquecimento de água por coletores solares a vácuo voltadas para o setor industrial que utilizam água aquecida em temperaturas mais elevadas no seu processo de fabricação.

Considera-se com este estudo a importância da engenharia econômica como forma de se quantificar continuamente a qualidade das edificações tornando os empreendimentos sustentáveis e não somente voltados no ganho econômico, contribuindo significativamente para melhoria do meio ambiente que será deixado para as próximas gerações.

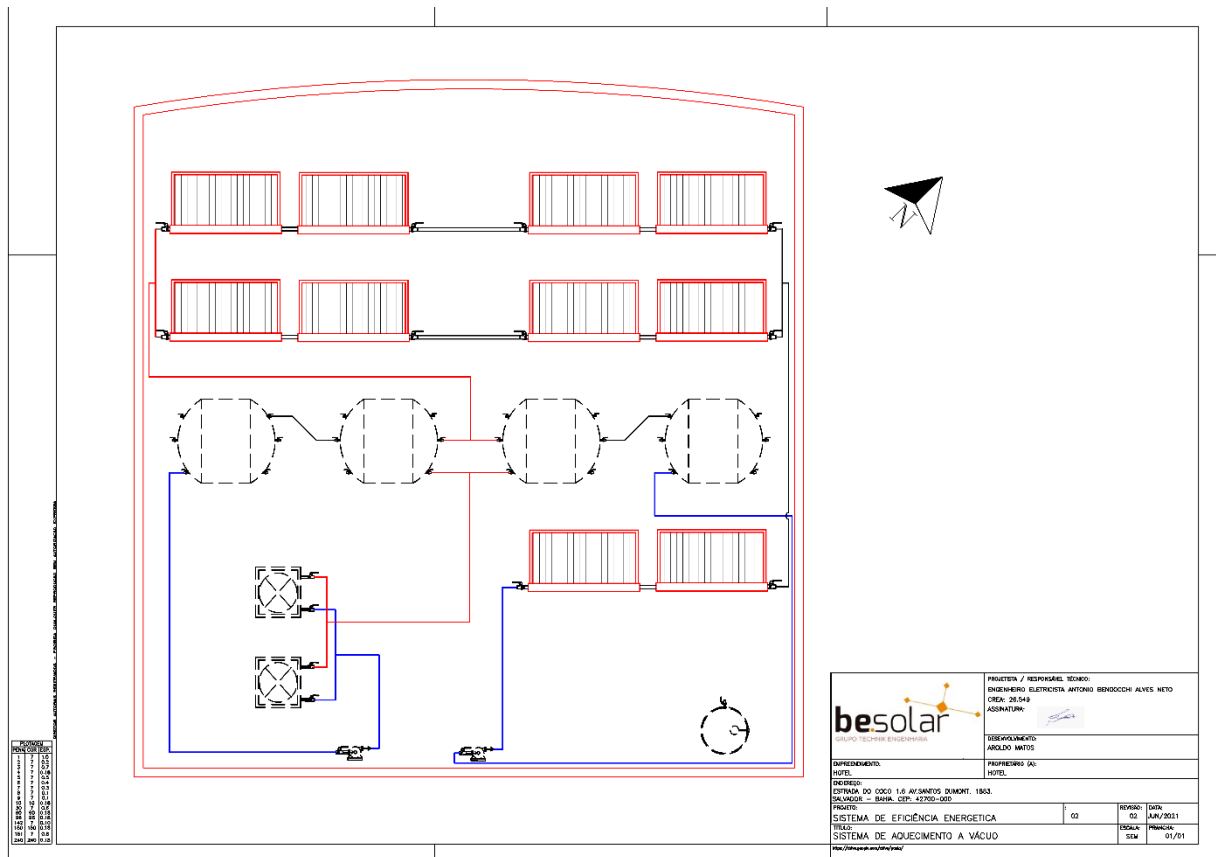
6. REFERÊNCIAS

- **ARAÚJO**, Frederico, Revista O Setor Elétrico - O panorama da eficiência energética no Brasil, 2021, disponível em: <https://acendebrasil.com.br/wp-content/uploads/2021/08/20210817_Revista-O-Setor-Eletrico_O-panorama-da-eficiencia-energetica-no-Brasil.pdf>
- **COLLE**, Sérgio; **PEREIRA**, Enio Bueno. Atlas de radiação solar do Brasil: In fontes não convencionais de energia: as tecnologias solar, eólica e de biomassa/ organização e edição: Organização Alexandre Albuquerque Montenegro.-3.ed.rev.modificada e ampliada- Florianópolis: 2000. 208p.
- **CAVALCANTE**, Kleber. Aquecimento da Água por Energia Solar. Brasil Escola. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/fisica/aquecimento-agua-por-energia-solar.htm>>, acesso em 11/10/2023.
- **DOS ANJOS**, V. L.; **MARQUES**, M. L. A. P.; **SILVA**, A. F. da; **ARAÚJO**, J. E. Q.; **QUEIROZ**, T. H. da S.; **ALMEIDA**, I. D. A. de; **MARINHO**, A. A. Aquecimento de água através da captação de energia solar: programação para orçamento de sistema de aquecimento. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 19–30, 2014. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/876>. Acesso em: 11 out. 2023.
- Manual Bombas de Calor HOT - Aquecimento de Água Residencial da INDUSTEK. Disponível em: <<https://industek.com.br/bomba-de-calor-banho/>> acesso em 24/09/2023
- Manual de Instalação Aquecedor Solar Modular ECOPRO. Disponível em: <<https://ecoprosustentavel.com.br/aquecedor-solar-a-vacuo-modular/>> acesso em 25/09/2023
- Orientações Técnicas sobre Instalações de Termofusão - PPR TERMOFUSÃO CATÁLOGO TÉCNICO. Disponível em: <<https://www.plastolandia.com.br/media/Catalogos/Tigre/ct-ppr-termofusao.pdf>> acesso em 26/09/2023.
- **Marco A. E. Galdino**, **Jorge H. G. Lima**, **Cláudio M. Ribeiro** e **Eduardo T. Serra**. O Contexto das Energias Renováveis no Brasil disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Direng.pdf>>
- **MEDEIROS**, Jesus Marlinaldo de et al. Avaliação técnica e viabilidade econômica de um sistema de aquecimento solar em um edifício residencial. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, João Pessoa, n. 24, p. 57-71, mar. 2014. ISSN 2447-9187. Disponível em: <<https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/145>>. Acesso em: 26 Set. 2023. doi:<http://dx.doi.org/10.18265/1517-03062015v1n24p57-71>.

- **SALES**, Talison Roberto Rodrigues, “O Uso da Energia Solar nas Obras Civas: Um Estudo Sobre o Aquecimento de Água por Sistema de Coletores Solares Em Edifícios Residenciais”. 2017. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/4520>>
- **SOARES**, R. M.; **RODRIGUES**, Délcio. **Políticas Públicas de incentivo ao uso de sistemas de aquecimento solar no Brasil**: acompanhamento das leis aprovadas e dos projetos de lei em tramitação. Cidades Solares, 2010.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 920, DE 23 DE FEVEREIRO DE 2021
- **CRUZ**, Talita Borges Análise do potencial de inserção de energia solar térmica para aquecimento de água em residências unifamiliares no Brasil/ Talita Borges Cruz – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2016.

ANEXOS

Anexo 1 – Planta do Layout do empreendimento utilizado para o estudo de caso.



Fonte: O autor.

Anexo 2 – Memorial de cálculo do benefício obtido pelo SAS.

Memorial de cálculo do Valor do Benefício	
Quantidade de leitos	217
Quantidade de banhos diários	2
Potencia do chuveiro (W)	5400
Tempo médio (h)*	0,17
Consumo de energia diário (KWh)	390,6
Consumo anual chuveiro (KWh)	142569
EE (KWh)**	99798,3
Valor da tarifa	2,33
Benefício fração solar anual	R\$ 232.530,04
*Banho de 10 minutos	
**Energia Economizada, 70% (Fração solar anual)	

Anexo 3 – Fluxograma de cálculo para dimensionamento de SAS.

Dimensionamento de SAS - NBR 15569 - Coletor ECOLOGIC modelo BNP-1-30							
Volume consumo:	Item	T Consumo(°C)	t(min)	Frequencia (dia)	Qtd Pessoas	Volume pessoa(L)	
$V_{consumo} = V_{pessoa} \times N_{total}$	Chuveiro	40	10	2	217	50	
Volume armazenamento:	Dados do sistema		Coletor ECOLOGIC modelo BNP-1-30				
$V_{armaz.} = \frac{V_{volume} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz.} - T_{ambiente})}$	Pessoas p/ Apartamento		1		FC Instalação	1,085	
	Quantidade de Apartamentos		217		Beta °	30	
	Temperatura Ambiente °C		26		Gama °	45	
	Temperatura Armazen. °C		50		Beta Otimo °	22	
Demanda energia útil:	Temperatura Consumo °C		40		PMEE	77,4	
$E_{util} = \frac{(V_{armazen.} \times \rho \times C_p \times (T_{armazen.} - T_{ambiente})) \times 30 \text{ dias}}{3600}$	Calor Especifico da água KJ/Kg°C		4,18		Área Coletor(m²)	4,47	
	Massa Espec. da água (ρ) Kg/L		1				
	Volume de consumo (Vvolume) m³		10850				
	75% Vol. consumo (Vvolume) m³		8137,5				
	Volume armazenamento m³		4747				
Área Coletora	Dados da Cidade:		Resultados				
$A_{coletora} = \frac{(E_{util} + E_{perdas}) \times FC_{instal} \times 4,89}{PMEE \times I_G}$	Lauro de Freitas				Energia útil (KWh)	3968,4	
	IG(KWh/m².dia)		6,7		Perda de Energia (KWh)	595,3	
Energia Perdida					Fração Solar	70%	
$E_{perdas} = E_{util} \times 0,15$					Área Coletora(m²)	46,7	
					Numero de Coletores	10	
FC de Instalação							
$FC_{instal} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{otimo})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \gamma^2]}$							

Fonte: O autor.