

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**RAMONN TOPOROWICZ RIBAS**

**SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR HÍBRIDO EM UM HOTEL NO  
INTERIOR NO PARANÁ**

**CURITIBA**

**2022**

**RAMONN TOPOROWICZ RIBAS**

**SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR HÍBRIDO EM UM HOTEL NO  
INTERIOR NO PARANÁ**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista, Curso de Especialização em Eficiência Energética e Geração Distribuída, Departamento de Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. James Alexandre Baraniuk

**CURITIBA**

**2022**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA -  
40001016317E1

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Monografia de Especialização de RAMONN TOPOROWICZ RIBAS intitulada: SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR HÍBRIDO EM UM HOTEL NO INTERIOR NO PARANÁ, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de especialista está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 19 de fevereiro de 2022.

James Alexandre Baraniuk  
Presidente da Banca Examinadora

Prof. Dr. JAMES ALEXANDRE BARANIUK  
Docente do Depto. de Eng. Elétrica  
Matrícula UFPR 202140

Rafael Angelo Gentilini

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

A toda minha família, pelo apoio e compreensão pela minha ausência neste período. Em especial minha mãe, meu filho, minha esposa e nossos dois novos bebês. Amo vocês!

## RESUMO

No Brasil, 24% do consumo de energia elétrica das residências é usado exclusivamente para aquecimento de água. É uma quantidade expressiva de energia que poderia ser evitada ou racionada. Pensando nisso, este trabalho traz uma proposta de substituição de cinquenta chuveiros elétricos de um hotel no interior do Paraná por um sistema de aquecimento solar (SAS) de água, aliado a bomba de calor e aquecedor a gás. Foi realizado também um levantamento de praticamente todas as tecnologias para aquecimento de água disponíveis no mercado nacional, listando seus princípios de funcionamento e tecendo comentários sobre cada uma. Pôde-se verificar que a solução apresentada pode não ser tão atrativa quando analisada apenas do ponto de vista financeiro, mas traz diversas vantagens em relação ao chuveiro elétrico: maior conforto do banho, redução no consumo energético, diversificação da matriz energética brasileira, redução da demanda no horário de ponta e disponibilidade de água quente mesmo na falta da energia elétrica.

Palavras-chave: Aquecimento solar de água. Bomba de Calor. Gás. Energia Solar. Viabilidade econômica. Hotel.

## **ABSTRACT**

In Brazil, 24% of household electricity consumption is used exclusively for water heating. It is an expressive amount of energy that could be avoided or rationed. With that in mind, this work presents a proposal to replace fifty electric showers in a hotel in the countryside of Paraná with a solar water heating system (SAS), combined with a heat pump and a gas heater. A survey was also carried out of practically all the technologies for heating water available in the national market, listing their operating principles and commenting on each one. It was possible to verify that the presented solution may not be so attractive when analyzed only from the financial point of view, but it brings several advantages in relation to the electric shower: greater comfort in the bath, reduction in energy consumption, diversification of the Brazilian energy matrix, reduction of demand at peak hours and availability of hot water even in the absence of electricity.

**Keywords:** Solar water heating. Heat Pump. Gas. Solar energy. Economic viability. Hotel.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CHUVEIRO ELÉTRICO KDT 8.800W.....	18
FIGURA 2 - INSTALAÇÃO DE AQUECEDOR CENTRAL.....	19
FIGURA 3 - AQUECEDOR ELÉTRICO POR ACUMULAÇÃO .....	19
FIGURA 4 - BOMBAS DE CALOR PARA AQUECIMENTO DE BANHO .....	20
FIGURA 5 - AQUECEDOR A GÁS DE PASSAGEM .....	21
FIGURA 6 - AQUECEDOR A GÁS DE ACUMULAÇÃO .....	22
FIGURA 7 - COLETOR SOLAR PLANO FECHADO .....	23
FIGURA 8 - COLETOR SOLAR PLANO ABERTO.....	24
FIGURA 9 - COLETOR SOLAR TUBO A VÁCUO.....	25
FIGURA 10 - EFICIÊNCIA DE COLETORES SOLARES .....	25
FIGURA 11 - RESERVATÓRIO TÉRMICO E SEUS COMPONENTES .....	26
FIGURA 12 - AQUECEDOR SOLAR ACOPLADO.....	28
FIGURA 13 - DIAGRAMA DO SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA.....	30
FIGURA 14 - DUCHA LOREN TRIO .....	32
FIGURA 15 - AQUECEDOR A GÁS DIGITAL 30 LITROS.....	43
FIGURA 16 - IMAGEM DO CHUVEIRO INSTALADO .....	45
FIGURA 17 - ILUSTRAÇÃO DOS NÍVEIS DE INSTALAÇÃO DOS CHUVEIROS .....	45

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - CONSUMO DE ELETRICIDADE MUNDIAL .....	12
GRÁFICO 2 - CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR RESIDENCIAL .....	13
GRÁFICO 3 - FATOR DE SIMULTANEIDADE DO CONSUMO DE ÁGUA QUENTE .....	41
GRÁFICO 4 - CURVA DE VAZÃO X PRESSÃO DO CHUVEIRO .....	46
GRÁFICO 5 - CURVA DE VAZÃO X ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA.....	46



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CONSUMO NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA POR CLASSE	13
TABELA 2 - LISTA DE COMPONENTES DO SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA.....	30
TABELA 3 - COMPARATIVO DE DEMANDA ENTRE SOLUÇÕES.....	31
TABELA 4 - DEMANDA DE ENERGIA MENSAL .....	34
TABELA 5 - RADIAÇÃO SOLAR MENSAL INCIDENTE .....	35
TABELA 6 - PARÂMETRO D1 .....	36
TABELA 7- FATORES DE CORREÇÃO E PARÂMETROS DO COLETOR.....	38
TABELA 8 - FRAÇÃO SOLAR MENSAL E ENERGIA ÚTIL MENSAL.....	38
TABELA 9 – FATOR DE ARMAZENAMENTO .....	42
TABELA 10 - COTAÇÕES DOS PRODUTOS .....	44
TABELA 11 - PREÇO DA SOLUÇÃO PROPOSTA.....	44
TABELA 12 - CONSUMO ENERGÉTICO DO SEGUNDO ANDAR.....	47
TABELA 13 - CONSUMO ENERGÉTICO DO PRIMEIRO ANDAR .....	47
TABELA 14 - GASTO ANUAL COM CHUVEIRO ELÉTRICO .....	48
TABELA 15 - GASTO DA BOMBA DE CALOR .....	49
TABELA 16 - ECONOMIA ANUAL .....	49
TABELA 17 - FLUXO DE CAIXA.....	50
TABELA 18 - VPL E TIR.....	51

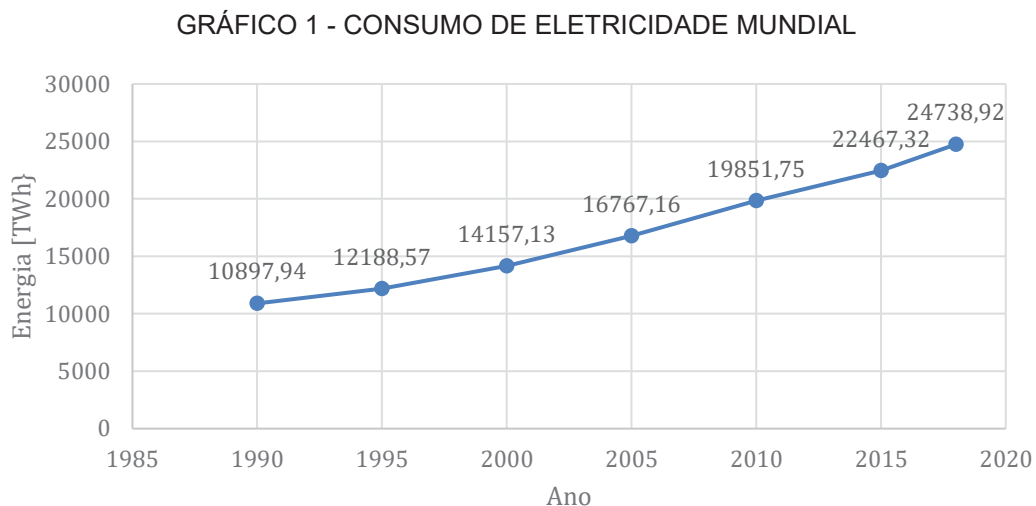
## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	15
1.2	OBJETIVOS .....	16
1.2.1	Objetivo Geral.....	16
1.2.2	Objetivos Específicos .....	16
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>17</b>
2.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	17
2.2	TECNOLOGIAS PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA PARA BANHO ...	17
2.2.1	Chuveiro Elétrico .....	17
2.2.2	Aquecedor central elétrico .....	18
2.2.3	Aquecedor elétrico por acumulação .....	19
2.2.4	Bomba de calor .....	20
2.2.5	Aquecedor a gás de passagem .....	20
2.2.6	Aquecedor a gás de acumulação .....	21
2.2.7	Aquecedor solar .....	22
2.2.7.1	Coletor solar .....	23
2.2.7.2	Reservatório térmico .....	26
2.2.7.3	Aquecedor solar tubos a vácuo acoplado.....	26
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>29</b>
3.1	ESCOLHA DO SISTEMA DE AQUECIMENTO .....	29
3.2	DUCHA.....	32
3.3	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR ...	33
3.3.1	Consumo .....	33
3.3.2	Volume do Sistema de Armazenamento .....	33
3.3.3	Área dos Coletores e Fração Solar .....	34
3.4	DIMENSIONAMENTO DA BOMBA DE CALOR .....	39
3.5	DIMENSIONAMENTO DO AQUECEDOR A GÁS.....	40
3.5.1	Volume diário de água quente .....	40
3.5.2	Volume de água quente em uma hora do período de maior consumo	41
3.5.3	Volume mínimo de água quente armazenada .....	41
3.5.4	Volume de recuperação.....	42
3.5.5	Potência do aquecedor a gás .....	42

3.6	COTAÇÕES DA SOLUÇÃO PROPOSTA .....	43
3.7	ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA DOS CHUVEIROS ELÉTRICOS .....	44
3.8	CÁLCULO DA ECONOMIA COM O SISTEMA PROPOSTO .....	48
3.9	ANÁLISE FINANCEIRA DA SOLUÇÃO PROPOSTA.....	49
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>52</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>54</b>
<b>6</b>	<b>APÊNDICE A – RESPOSTA INMETRO .....</b>	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A cada dia que passa vemos novos produtos e tecnologias sendo criados, e junto a isso o hábito das pessoas acaba consequentemente sendo alterado. Essa oferta de novas tendências vai se enraizando na população como um todo, de forma que aquilo que era anteriormente novidade passe a ser algo comum e padrão. Todas estas novidades demandam de energia, muitas vezes elétrica, pra serem produzidas ou para permanecerem em funcionamento. Sendo assim, é inevitável pensar que o consumo de energia elétrica mundial tende a crescer ao longo dos anos. A Figura 1 da Agência Internacional de Energia (*IEA*) a seguir corrobora esta informação.



FONTE: Adaptado de *IEA* (2021).

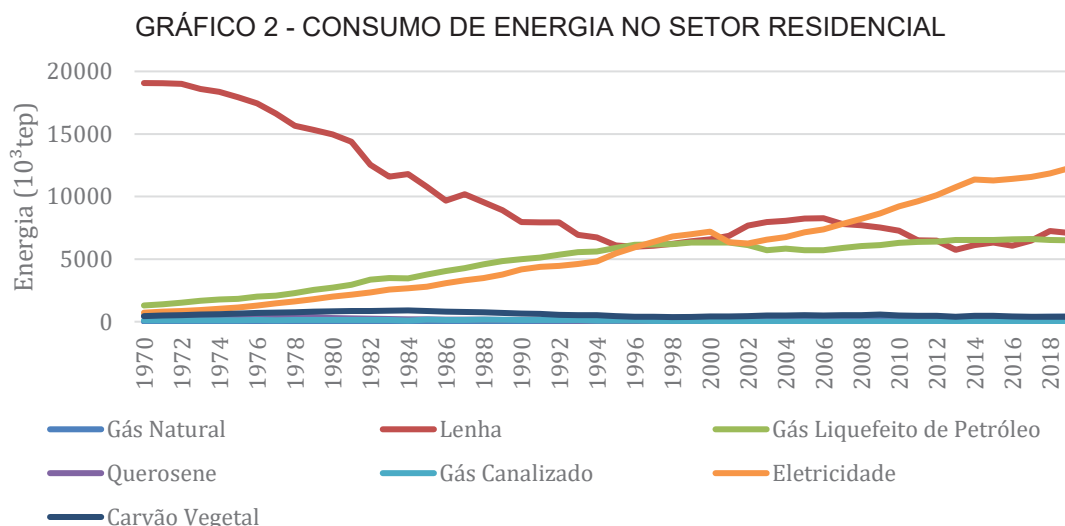
Assim como no mundo, o Brasil também possui uma projeção de aumento de consumo de eletricidade, conforme dados da EPE (2021). Dentre os setores, o maior consumidor é o industrial, seguido do residencial, comercial e por último os demais setores.

TABELA 1 - CONSUMO NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA POR CLASSE

CONSUMO (GWh)	1995	2000	2005	2010	2015	2018
<b>BRASIL</b>	<b>243.074</b>	<b>307.529</b>	<b>345.336</b>	<b>415.668</b>	<b>465.987</b>	<b>475.237</b>
RESIDENCIAL	63.576	83.613	82.644	107.215	131.190	137.615
INDUSTRIAL	111.626	131.278	159.662	179.478	169.563	170.041
COMERCIAL	32.276	47.626	53.035	69.170	90.768	88.631
OUTROS	35.596	45.011	49.995	59.805	74.467	78.950

Fonte: Adaptado de EPE (2021)

Nas residências, vê-se uma mudança na matriz de energia utilizada ao longo dos anos, as quais substituíram a lenha pela eletricidade como principal fonte. Em 1980, a lenha representava 71% do consumo das residências, frente a 13% do GLP e apenas 10% de eletricidade. Com a popularização dos eletrodomésticos, passou-se a utilizar uma quantidade muito maior de energia elétrica, e com o advento do chuveiro, a lenha deixou de ser a principal fonte utilizada no aquecimento de água para o banho. Com isso, em 2008 o consumo de eletricidade superou o de lenha e mantém este posto até os dias atuais. Em 2019, a eletricidade representou 46% do consumo energético das casas brasileiras, e a lenha apenas 27%.



Fonte: Adaptado de EPE – BEN Interativo (2021)

Quando se fala em aquecimento de água para banho, esta história se inicia no Brasil no século XX com os primeiros protótipos de chuveiros elétricos, visto que, diferentemente dos países europeus e norte-americanos, aqui as

redes de gás eram praticamente inexistentes naquela época. Em 1940 uma empresa de São Paulo criou um chuveiro que entrava em funcionamento automaticamente ao se abrir o registro de água. Seu uso foi rapidamente difundido no país, pois as próprias empresas lançaram propagandas incentivando seu uso. Além do mais, o custo pra implantação de canalizações a gás era muito elevado. Com o passar dos anos, os chuveiros foram sendo normatizados, passando a ser considerados equipamentos seguros (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA, 2011).

Dados da ELETROBRAS/PROCEL (2019) revelam que dentre as diversas formas de aquecimento de água existentes, o chuveiro elétrico de passagem representa quase que a totalidade dos sistemas domésticos brasileiros, chegando a, no caso da região Sul, estar presente em 96,32% das moradias. O baixo custo de implantação inicial quando comparado a outros sistemas é o principal motivo desta maioria. Apesar disso, seu funcionamento ao longo do tempo se torna oneroso devido ao gasto com eletricidade. Segundo a Eletrobrás (2007), este equipamento é o grande vilão das contas de energia, representando em torno de 24% do consumo de uma residência. Além disso, o uso do chuveiro coincide com o horário de ponta de energia elétrica. Os banhos geralmente ocorrem quando as pessoas estão retornando do trabalho no final da tarde ou início da noite. Isso faz com que a alta potência dos chuveiros sendo usados simultaneamente eleve a demanda no sistema de distribuição de energia elétrica, implicando em investimentos constantes para manutenção desta disponibilidade de carga.

A água quente para banho é algo imprescindível nas residências brasileiras, principalmente nas regiões mais ao Sul do país onde a temperatura ambiente em algumas épocas do ano chega a ser menor do que zero. Alguns dos usos possíveis para água quente são: pias de cozinhas e banheiros, duchas higiênicas, máquina de lavar roupa, máquina de lavar louça e chuveiro. Considerando todos estes equipamentos sendo utilizados diariamente, o consumo de água quente é muito alto, e conseqüentemente a energia necessária para aquecê-la.

Apesar do chuveiro estar presente na maioria das residências no Brasil, existem diversas outras tecnologias para aquecimento de água, como o aquecimento a gás e solar, por exemplo. O SAS (Sistema de Aquecimento Solar) é composto basicamente por coletores e reservatório térmico, podendo ser encontrados em uma única peça ou instalados separadamente. O primeiro sistema solar foi patenteado em 1891 por Clarence Kemp, nos Estados Unidos. Os estados norte-americanos mais quentes logo adotaram este sistema, pois oferecia conforto comparado a outras tecnologias que usavam combustíveis fósseis e eram consideravelmente mais caras. Apesar disso, seu uso era limitado pelo fato que o elemento de aquecimento dobrava com o aumento do reservatório de armazenamento. Foi assim que em 1909 o americano William J. Bailey patenteou um sistema que separava a parte que realizava o aquecimento da água do tanque de armazenamento, tornando o sistema mais eficiente e mais parecido ao que se encontra atualmente no mundo todo (BRITANNICA).

Como citado anteriormente, o chuveiro elétrico é um grande consumidor de energia elétrica, utilizando uma quantidade expressiva de energia apenas para o aquecimento de água para banho, e que poderia ser facilmente diminuída se a eletricidade fosse substituída por outra fonte de calor. E é basicamente este o intuito deste trabalho: substituir o uso do chuveiro elétrico por outras soluções mais eficientes e sustentáveis.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Um bom profissional em eficiência energética irá propor soluções que realmente diminuam o consumo de energia do cliente. Esse é o primeiro passo na melhoria energética global de uma instalação, e deve anteceder soluções como a geração fotovoltaica, por exemplo. Acontece que, quando se fala em eficiência e energia limpa, a tecnologia mais lembrada atualmente é a geração de energia fotovoltaica, por sermos bombardeados diariamente com marketing relacionado a isso. Assim, soluções de eficiência simples como o aquecimento solar de água acabam sendo ofuscadas. Desta forma, um trabalho que mostre a viabilidade ao se adotar um sistema de aquecimento de água que contemple

fonte solar, bomba de calor e aquecedor a gás é de grande importância não só para os consumidores e proprietários de empreendimentos, mas também para o setor energético nacional, visto que existe um grande volume de potência a ser reduzido do sistema elétrico.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Propor e analisar financeiramente um sistema híbrido de aquecimento solar, bomba de calor e aquecedor a gás em substituição ao chuveiro elétrico em um hotel no interior do Paraná.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Levantamento das tecnologias disponíveis para aquecimento de água
- b) Seleção dos equipamentos a serem instalados;
- c) Dimensionamento do sistema;
- d) Cotações com fabricantes e distribuidores;
- e) Comparativo financeiro entre chuveiro elétrico e a solução adotada;
- f) Análise dos resultados e viabilidade financeira.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Uma definição simples de eficiência energética é dada pela ABESCO (2021): “Fazer mais com menos energia”. Ou seja, produzir mais produto ou serviço consumindo menos energia, ou até mesmo manter a produção atual, porém reduzindo o gasto energético. Para se conseguir isso, deve ser feita uma análise minuciosa de cada processo produtivo, onde serão detalhadas as fontes de energia e insumos e como estes se relacionam com o produto ou serviço final. Este tipo de serviço é conhecido como Diagnóstico Energético, e é realizado geralmente por empresas de engenharia que fazem o levantamento e propõe soluções de eficiência.

### 2.2 TECNOLOGIAS PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA PARA BANHO

Atualmente existem diversas tecnologias no mercado para aquecimento de água, seja para fins industriais, residenciais ou comerciais. Este trabalho se concentrará apenas nos usos residenciais.

Os aquecedores para água podem ser divididos em aquecedores de passagem ou de acumulação, e ainda separados em relação à fonte utilizada para aquecimento.

#### 2.2.1 Chuveiro Elétrico

O chuveiro elétrico é caracterizado por ser um aquecedor de passagem e, como o próprio nome diz, utiliza a energia elétrica para realizar tal função. A ABNT (2015, p. 1) define como sendo “Aparelho elétrico de aquecimento instantâneo de água, aberto, instalado em um ponto de utilização cujo sub-ramal contém registro de pressão para controle de vazão.” Por ser um equipamento de fácil instalação e preço baixo, seu uso é vastamente difundido no Brasil, chegando a estar presente em 96,32% das residências. O problema do chuveiro reside no fato de ser um equipamento com elevada potência (existe no mercado

chuveiros com até 8.800W) e conseqüente consumo de energia, sendo o grande vilão.

FIGURA 1 - CHUVEIRO ELÉTRICO KDT 8.800W



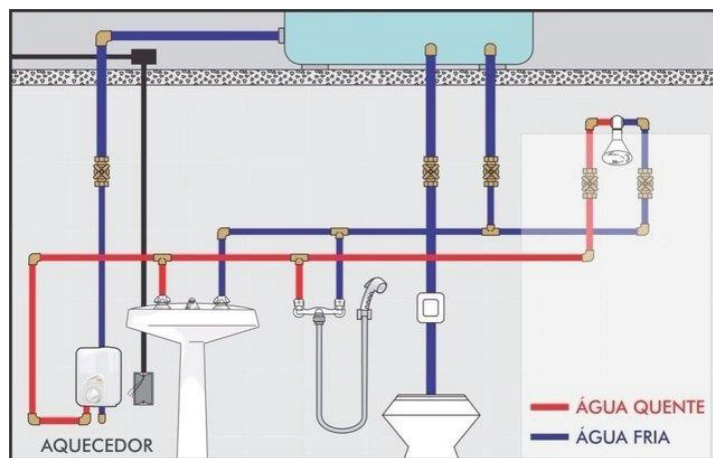
FONTE: KDT (2022)

Apesar do alto consumo de energia, pode-se citar que o chuveiro elétrico é o único equipamento que apresenta desperdício mínimo de água, pois está instalado diretamente no ponto de uso. A água leva apenas alguns segundos pra ser aquecida, diferentemente de outros sistemas de pré-aquecimento (solar, a gás, elétrico central ou por acumulação), nos quais toda a água fria presente na tubulação entre o sistema de aquecimento e o ponto de uso é descartada até que a água quente chegue ao usuário. Porém, já existem tecnologias no mercado aptas a minimizar estes desperdícios, como os anéis de circulação de água quente.

### 2.2.2 Aquecedor central elétrico

O aquecedor central elétrico tem seu funcionamento muito parecido ao chuveiro elétrico. Este equipamento é recomendado quando se tem a necessidade de obter água quente em mais de um ponto simultaneamente, como em um chuveiro e torneira do banheiro por exemplo, ou até mesmo em dois chuveiros. Ele possui potência superior ao do chuveiro elétrico (geralmente em torno de 10.500W) e fica instalado próximo ao ponto de uso, mas não necessariamente no próprio local.

FIGURA 2 - INSTALAÇÃO DE AQUECEDOR CENTRAL



FONTE: Radioarte (2022)

### 2.2.3 Aquecedor elétrico por acumulação

Também chamado de *boiler*, o aquecedor elétrico por acumulação é um reservatório metálico isolado termicamente do meio externo e dotado de uma resistência em seu interior, responsável por aquecer a água até a temperatura desejada pelo usuário, por meio de um termostato regulável. Em alguns fabricantes, a resistência é um item opcional.

FIGURA 3 - AQUECEDOR ELÉTRICO POR ACUMULAÇÃO



FONTE: Heliotek

Seu uso isolado é incomum, sendo mais usado em conjunto com outros sistemas de aquecimento de água, como o solar ou a gás por exemplo. Por possuir vários tamanhos, ele se encaixa em diversos projetos.

#### 2.2.4 Bomba de calor

Inicialmente, cabe ressaltar que as bombas de calor para aplicação de banho atingem temperaturas superiores às bombas de calor para aquecimento de piscina. Portanto, são equipamentos diferentes com usos específicos para cada aplicação.

As bombas de calor nada mais são do que ar-condicionados funcionando no ciclo reverso, ou seja, retirando calor do ambiente e transferindo para o fluido que circula em seu interior. São equipamentos que possuem uma eficiência muito superior quando comparado a chuveiros elétricos ou por acumulação. Porém, perdem capacidade de aquecimento quando submetidos a temperaturas muito baixas (abaixo de 10°C).

FIGURA 4 - BOMBAS DE CALOR PARA AQUECIMENTO DE BANHO



FONTE: Industek (2021)

Geralmente são usados para aplicações onde o consumo de água quente é considerável, como hotéis, pousadas, academias, condomínios. Para aplicações menores, como residências por exemplo, ainda não se vê esse tipo de solução no Brasil.

#### 2.2.5 Aquecedor a gás de passagem

O funcionamento básico deste sistema consiste em aquecer a água que circula em seu interior por meio de uma chama a gás. A ABNT NBR 13103 (2013, p. 2) diz que aparelho a gás é um “aparelho que utiliza gás combustível.” É um

sistema muito difundido ao redor do mundo, porém no Brasil seu uso se concentra nas classes econômicas A e B1 e B2 (ELETROBRÁS/PROCEL, 2019). Isso porque para seu funcionamento, é necessário investir em tubulação exclusiva de gás e no próprio equipamento. Encontram-se opções de aquecedor a gás de passagem para diversas vazões, podendo atender um ou mais pontos de consumo. Para aplicações maiores, podem ser associados em série ou paralelo para fornecer a demanda necessária de água quente. Ainda, existem no mercado as versões analógicas ou digitais, e cada uma possui suas características próprias.

FIGURA 5 - AQUECEDOR A GÁS DE PASSAGEM



FONTE: Rheem (2021)

Vale lembrar que, por ser um aquecedor de passagem, a quantidade de gás solicitada pelo equipamento para elevar a temperatura da água pode ser grande, implicando numa disponibilidade elevada de pressão de gás.

#### 2.2.6 Aquecedor a gás de acumulação

Este tipo de equipamento não é comum no Brasil. Mesmo assim existem alguns fabricantes que fornecem esta solução. Este sistema é composto por um reservatório isolado termicamente que é aquecido por uma chama a gás, a qual aquece toda a água em seu interior até uma temperatura ajustada pelo usuário por meio de um termostato. Como é isolado termicamente, a água em seu interior

permanece aquecida por um longo período de tempo e com mínima perda térmica.

FIGURA 6 - AQUECEDOR A GÁS DE ACUMULAÇÃO



FONTE: Orbis (2021)

Na pesquisa realizada, encontrou-se modelos comerciais de 130 até 400 litros.

#### 2.2.7 Aquecedor solar

O aquecedor solar, diferentemente das outras soluções apresentadas até o momento, é o único que usa uma fonte 100% renovável: o Sol. Este trabalho traz apenas a solução voltada para banho, mas a tecnologia de aquecimento solar pode ser estendida para diversas outras aplicações onde seja necessário água quente, como piscinas, cozinhas e processos industriais.

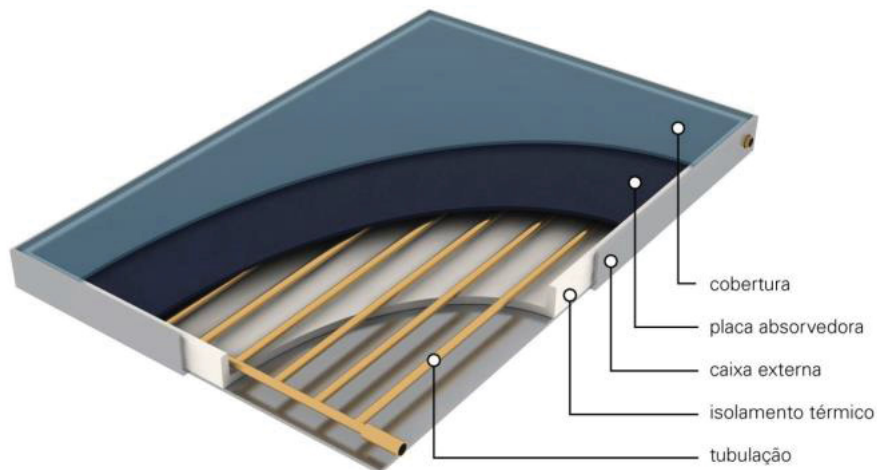
Os aquecedores solares se constituem de basicamente dois componentes: o reservatório térmico, muitas vezes chamado de *boiler*, e o coletor solar, popularmente conhecido por “placa solar”. Estes podem ser encontrados como equipamentos separados ou em um único produto, os chamados “acoplados”. A ABNT NBR 15569 (2008, p. 4) diz que o sistema de aquecimento solar (SAS) é “sistema composto por coletor(es) solar(es), reservatório(s) térmico(s), aquecimento auxiliar, acessórios e suas interligações hidráulicas, que funciona por circulação natural ou forçada.”

Quanto ao funcionamento, o sistema de aquecimento solar pode funcionar por termossifão (circulação natural) ou bombeado.

### 2.2.7.1 Coletor solar

O coletor solar é o principal componente do sistema. É ele o responsável por absorver a energia do sol e transferir à água, elevando sua temperatura. Existem no mercado três tipos de coletores solares: coletor plano fechado, coletor plano aberto e coletor a vácuo. No primeiro, a irradiância é uniforme para toda a área coletora, e sua estrutura é apresentada na figura a seguir (ABRINSTAL, 2011).

FIGURA 7 - COLETOR SOLAR PLANO FECHADO



FONTE: COMGÁS/ABRINSTAL, 2011

Segundo a ABRINSTAL, 2011, suas partes componentes são:

- Cobertura: permite a passagem da radiação solar e retém a radiação emitida pela placa absorvedora, diminuindo as perdas entre o coletor e o meio externo;
- Placa absorvedora: absorve a energia radiante e transfere à água;
- Caixa externa: separa os componentes do coletor do meio externo;
- Isolante térmico: material de baixa condutividade térmica responsável por diminuir as perdas entre a placa absorvedora e a caixa externa;
- Tubulação: geralmente constituído de material metálico (cobre ou inox) e é ela quem conduz a água a ser aquecida e transfere a energia da placa absorvedora para a água.

Há que se tomar cuidado especial na instalação desse tipo de coletor em regiões sujeitas a temperaturas negativas, como é o caso da região Sul do Brasil. Na ocorrência de temperaturas abaixo de zero, a água no interior do coletor irá congelar, expandindo-se e possivelmente causando danos e/ou vazamentos. Nestes casos, é indicado que se opte por coletores com tubulação em inox, os quais são mais resistentes (quando submetidas a baixas temperaturas) que o cobre. Além disso, nestes casos devem ser previstos sistema de anticongelamento, os quais podem ser por meio de válvulas mecânicas ou elétricas.

A composição do coletor solar aberto é muito mais simples. Neste modelo, o Sol incide diretamente sobre a placa absorvedora e, como ela não possui nenhuma barreira, acaba trocando mais calor com o meio externo. Isso faz com que esse tipo de coletor atinja temperaturas menores quando comparado ao coletor fechado. Seu uso mais comum é no aquecimento de piscinas (ABRINSTAL, 2011).

FIGURA 8 - COLETOR SOLAR PLANO ABERTO



FONTE: Hidraunet (2021)

O último modelo disponível de coletor solar é o tubo a vácuo. Este modelo é composto por tubos de vidro com camada externa e interna, e entre elas há o vácuo. O vidro externo é transparente antirreflexivo e o interno é o que possui a superfície absorvedora, a qual irá transferir a energia radiante do sol para a água. Como entre eles existe o vácuo que é um ótimo isolante, a temperatura no interior dos tubos atinge temperaturas altas, podendo superar 90°C. Devido a isso, deve-se tomar cuidado no uso destes coletores para aplicações



residenciais, pois a água pode queimar os usuários. Recomenda-se nestes casos o uso de válvulas misturadoras na saída dos reservatórios térmicos para limitar a temperatura da água nos pontos de uso. Por atingir altas temperaturas, exige menos área de aplicação do que coletores planos, além de ter melhor eficiência e maior resistência a congelamentos.

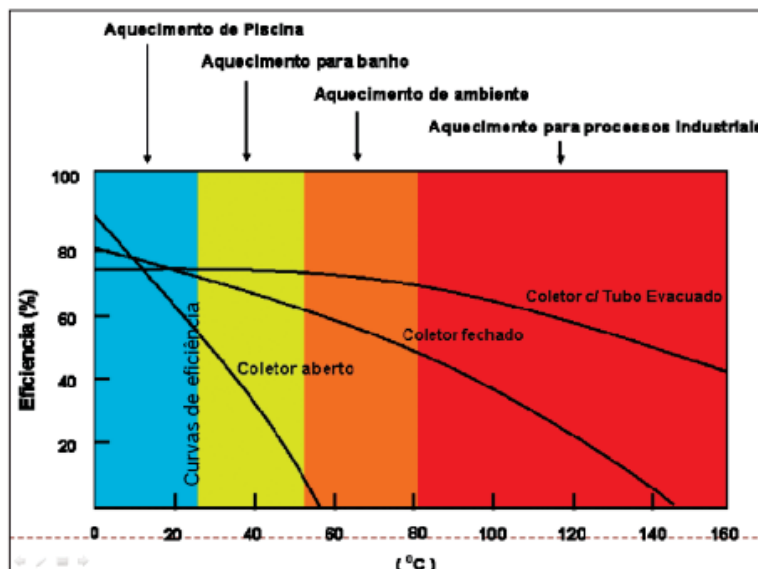
FIGURA 9 - COLETOR SOLAR TUBO A VÁCUO



FONTE: Komecco (2021)

A figura a seguir ilustra os três tipos de coletores solares disponíveis no mercado e onde cada um é aplicado, assim como suas eficiências. Pode-se observar que para o aquecimento de banho, que é o intuito deste trabalho, o que apresenta melhor eficiência é o coletor com tubos a vácuo.

FIGURA 10 - EFICIÊNCIA DE COLETORES SOLARES

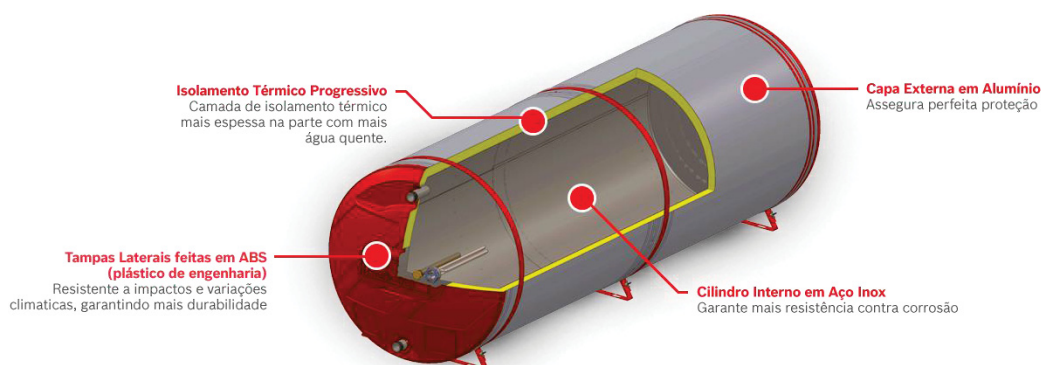


FONTE: Heliotek (2014)

### 2.2.7.2 Reservatório térmico

É o componente responsável por armazenar a água aquecida pelos coletores solares. Nada mais é do que o aquecedor elétrico por acumulação citado em 2.2.3.

FIGURA 11 - RESERVATÓRIO TÉRMICO E SEUS COMPONENTES



FONTE: Heliotek

### 2.2.7.3 Aquecedor solar tubos a vácuo acoplado

Neste equipamento, o coletor e o reservatório térmico são unidos formando apenas um produto. A circulação de água ocorre de forma natural

(também conhecido por termossifão), por meio da diferença de temperatura e consequente densidade da água. Isso permite o funcionamento sem a necessidade de forçar a circulação hidráulica por meio de bombas. Porém, a eficiência devido a isso é comprometida quando comparada a sistemas forçados (bombeados) visto que a circulação de água ocorre de forma muito lenta, pois ela precisa atingir temperaturas elevadas para permitir a circulação.

FIGURA 12 - AQUECEDOR SOLAR ACOPLADO



FONTE: Aquakent

Apesar de ser anunciado como um produto para residências populares, sua constituição é muito robusta e possui diversas vantagens em relação à instalação separada:

- Não há necessidade de tubulação de interligação entre reservatório e coletor;
- Maior eficiência devido a menor distância entre componentes;
- Resistente a baixas temperaturas;
- Instalação simplificada;
- Custo global reduzido.

### 3 DESENVOLVIMENTO

O local selecionado para estudos foi um hotel na cidade de São Mateus do Sul – PR. Situado a 835 metros de altitude, o município tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 25°52'36" Sul, Longitude: 50°23'3" Oeste (PMSMS, 2021). Trata-se de um prédio construído em 1985 e que irá passar por reforma completa, incluindo todas instalações elétrica e hidráulica. No piso térreo encontram-se as áreas comuns e de serviço do hotel. Os cinquenta quartos estão divididos no primeiro e segundo pavimentos, sendo que cada andar possui 25 quartos, e atualmente possuem chuveiros elétricos em todos os banheiros, os quais serão substituídos. A taxa de ocupação média por quarto é de 1,4 hóspedes, e a taxa ocupação média do hotel é de 65%. Segundo a gerência, a maioria dos ocupantes são representantes comerciais.

#### 3.1 ESCOLHA DO SISTEMA DE AQUECIMENTO

A escolha das tecnologias de aquecimento de água levou em conta alguns fatores:

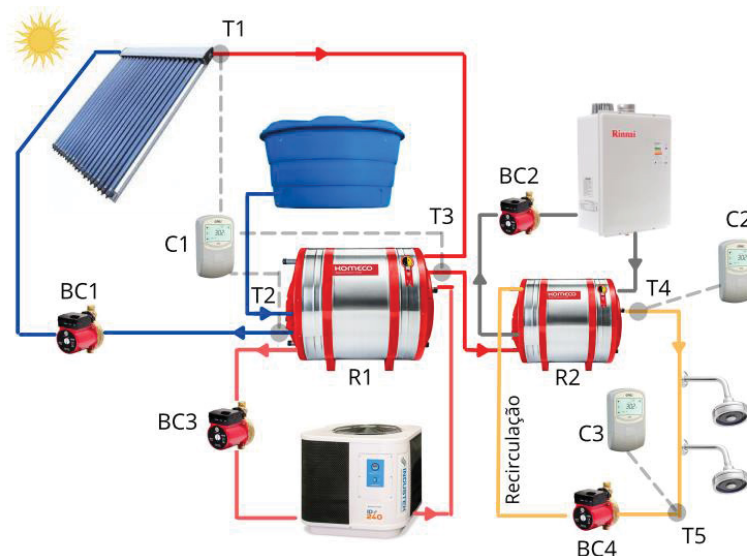
- Solicitação do proprietário por banhos mais confortáveis;
- Seleção de equipamentos com alta eficiência;
- Utilização de soluções consolidadas;
- Concentração dos equipamentos em áreas técnicas dedicadas para facilitar futuras manutenções

O sistema completo pode ser visualizado na figura seguinte, com seus respectivos componentes identificados na TABELA 2.

A configuração escolhida foi o que a COMGÁS/ABRINSTAL (2011) chama de “Sistema Conjugado Central”. Ela se caracteriza por possuir dois reservatórios distintos: um para o aquecimento solar e outro para o aquecimento central a gás, o qual é instalado em série e possui capacidade reduzida em comparação ao anterior. É como se o sistema de aquecimento solar funcionasse como um pré-aquecimento ao sistema a gás. Esta configuração permite o correto suprimento de água quente de uma edificação utilizando uma menor quantidade

de equipamentos aquecedores a gás. Neste trabalho, adicionou-se ao sistema uma bomba de calor para tornar a solução ainda mais eficiente.

FIGURA 13 - DIAGRAMA DO SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA



FONTE: O autor (2022)

TABELA 2 - LISTA DE COMPONENTES DO SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

Descrição	Quantidade	Fabricante	Modelo
Coletor Tubo a Vácuo	8	UNISOL	Coletor Solar 30 Tubos
Bomba Circulação	4	KOMECO	TP-40 Bronze
Bomba de Calor	1	ID80H55	INDUSTEK
Aquecedor a Gás	1	RHEEM	RB3AP30PVPTIC
Reservatório Solar 3000 Litros	1	KOMECO	*modelo personalizado, sem apoio elétrico
Reservatório Gás 400 litros	1	KOMECO	KORT SD304 40AP
Controlador 1	1	FULL GAUGE	Microsol BMP Advanced
Controlador 2 e 3	2	FULL GAUGE	Microsol SWP Advanced

FONTE: O autor (2022)

O sistema compreende a captação da radiação solar por meio dos coletores e posterior armazenamento no reservatório 1, o sistema auxiliar por meio da bomba de calor (responsável por complementar a temperatura da água em períodos de baixa insolação ou alto consumo), o sistema auxiliar redundante por meio do aquecedor a gás (responsável por fornecer água em temperatura ideal para banho no caso de o sistema de aquecimento solar e a bomba de calor não serem suficientes, como é o caso de dias com temperaturas extremamente baixas, muito comuns no inverno nesta região, no qual a bomba de calor tem seu

funcionamento prejudicado) com seu respectivo reservatório térmico, o anel de recirculação de água quente e a distribuição para consumo.

As temperaturas de referência dos sensores foram baseadas no trabalho desenvolvido por Marlinaldo de Medeiros et al. (2014), o qual apresenta um sistema semelhante já implementado e validado. Assim, o controlador C1 é responsável por acionar a bomba BC1 quando a diferença de temperatura entre o sensor T1 (localizado na saída do último coletor) e o sensor T2 (localizado na entrada de água fria do reservatório R1) for maior que 4°C, e desligar caso a diferença seja menor que 2°C. A bomba BC3, responsável por ativar o sistema auxiliar da bomba de calor, é acionada pelo sensor T3, localizado na saída do reservatório R1, quando sua temperatura for inferior a 45°C, e se desliga automaticamente quando a temperatura T3 atingir 50°C. O sistema auxiliar redundante a gás é controlado pelo controlador C2. Quando a temperatura do sensor T4 (localizado na saída do reservatório R2) é inferior a 45°C, a bomba BC2 é acionada e desliga-se quando atinge 50°C. Por último, o sensor de temperatura T5 (instalado no anel de recirculação de água quente, após a última ducha do primeiro andar) é responsável por ativar a bomba BC4 quando a temperatura estiver igual ou abaixo de 35°C e desliga-la quando a temperatura atingir 38°C.

Outro fator importante a ser citado é que a substituição dos chuveiros elétricos alivia a carga da instalação, fazendo com que o disjuntor geral seja menor.

TABELA 3 - COMPARATIVO DE DEMANDA ENTRE SOLUÇÕES

	Equipamento	Quantidade	Potência Individual [kW]	Potência Total [kW]	Fator Demanda	Potência Demandada [kW]
<b>Solução Anterior</b>	Chuveiro	50	7,5	375	0,4	150
<b>Solução Atual</b>	Bomba de Calor e periféricos	1	4,5	4,5	1	4,5

FONTE: O Autor (2022).

Conforme apresentado na tabela, a redução de potência demandada na instalação é drástica, o que implica em equipamentos e materiais

consideravelmente menores e mais baratos, como cabos, disjuntores, barramentos e infraestrutura elétrica em geral.

### 3.2 DUCHA

Apesar de não participar ativamente no sistema de aquecimento, a escolha da ducha é o ponto de partida do dimensionamento de toda a solução, pois a seleção de todos equipamentos está relacionada à vazão e perfil de uso das duchas.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 15569 (2008) traz o consumo mínimo de 3 l/min e máximo de 15 l/min para duchas. Há que se pensar na questão ambiental, onde atualmente os famosos “banhos de hotel”, com pressão e vazão de água extremas, podem ser considerados desperdícios. Buscando um equilíbrio entre conforto e racionamento de água, a ducha selecionada para o empreendimento foi o Loren Trio da marca Lorenzetti. O principal motivo da escolha foi por este produto possuir um limitador de vazão, a qual nunca passa de 8 l/min para pressões de até 40 mca. Este modelo possui 5 anos de garantia contra defeitos de fabricação, quando instalado em locais de uso coletivo.

FIGURA 14 - DUCHA LOREN TRIO



FONTE: Lorenzetti.

Com a substituição do chuveiro pela ducha, manutenções elétricas individuais em cada quarto não serão mais necessárias, uma vez que a ducha possui apenas partes mecânicas. A manutenção do sistema resume-se a limpeza e possíveis desobstruções dos jatos.



### 3.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

Os dimensionamentos deste capítulo tiveram como base a metodologia da ABNT NBR 15569 e no modelo *F-Chart (Carta F)*<sup>1</sup> apresentado pela COMGÁS/ABRINSTAL (2011).

#### 3.3.1 Consumo

Para determinação do consumo diário de água quente  $V_{\text{consumo}}$ , considerou-se as seguintes variáveis:

$N_d$  = Número de duchas = 50

$V_d$  = Vazão individual de cada ducha = 8 litros/minuto

$T_b$  = Tempo de Banho em minutos = 12 minutos

$N_h$  = Número médio de hóspedes por quarto = 1,44

$T_x$  = Taxa de ocupação = 65%

$$V_{\text{Consumo}} = N_d \times V_d \times T_b \times N_h \times T_x = 4.493 \text{ litros} \quad (1)$$

#### 3.3.2 Volume do Sistema de Armazenamento

Segundo a ABNT NBR 15569, o volume de armazenamento do SAS é dado por:

$$V_{\text{armaz.}} = \frac{V_{\text{Consumo}} \times (T_{\text{Consumo}} - T_{\text{Ambiente}})}{T_{\text{armaz.}} - T_{\text{Ambiente}}} \quad (2)$$

Onde:

$T_{\text{Consumo}}$  é a temperatura de utilização = 45°C

$T_{\text{Ambiente}}$  é a temperatura média anual = 18°C

$T_{\text{armaz.}}$  é a temperatura de armazenamento da água = 60°C

Inserindo todos os dados na equação anterior, obtém-se um valor de armazenamento de 2.888 litros, sendo adotado o valor mais próximo

---

<sup>1</sup> BECKMAN, W. A., Klein S. A. and DUFFIE, J. A., **Solar Heating Design by the F-chart method**. Wiley-Interscience, New York (1977)

comercialmente que é de 3.000 litros, e o modelo selecionado foi o da marca Komeco.

### 3.3.3 Área dos Coletores e Fração Solar

Os coletores serão instalados na cobertura do hotel, orientados ao Norte geográfico e com inclinação igual à latitude do local.

O primeiro passo é a determinação da demanda de energia mensal, com base na seguinte equação:

$$DE_{mês} = V_{Consumo} \times N \times (T_{Consumo} - T_{AF}) \times 1,16 \times 10^{-3} \quad (3)$$

Onde;

$DE_{mês}$  demanda energética mensal [kWh/mês]

$N$  número de dias do mês considerado

$T_{AF}$  temperatura da água fria da rede[°C]

A temperatura de água fria da rede foi estipulada como sendo 2°C abaixo da temperatura ambiente ( $T_{amb}$ ) média do mês (COMGÁS/ABRINSTAL, 2011, p. 55). Estes dados foram obtidos no IAPAR (2019), e pode-se elaborar a seguinte tabela:

TABELA 4 - DEMANDA DE ENERGIA MENSAL

Mês	N	$T_{amb}$ [°C]	$T_{AF}$ [°C]	$DE_{mês}$ [kWh/mês]
Janeiro	31	21,5	19,5	3796
Fevereiro	28	21,5	19,5	3429
Março	31	20,5	18,5	3958
Abril	30	18,5	16,5	4143
Maio	31	15,5	13,5	4765
Junho	30	13,5	11,5	4924
Julho	31	13,5	11,5	5088
Agosto	31	14,5	12,5	4927
Setembro	30	15,5	13,5	4611
Outubro	31	17,5	15,5	4442
Novembro	30	19,5	17,5	3986
Dezembro	31	20,5	18,5	3958

FONTE: (INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR, 2019)

Em seguida, foi possível calcular a radiação solar mensal incidente  $EI_{mês}$  sobre os coletores, recorrendo aos dados de radiação solar incidente sobre o plano inclinado  $H_{dia}$ , disponível no CRESESB (2022).

$$EI_{mês} = H_{dia} \times N \quad (4)$$

TABELA 5 - RADIAÇÃO SOLAR MENSAL INCIDENTE

Mês	N	$H_{dia}$ [kWh/(m <sup>2</sup> *dia)]	$EI_{mês}$ [kWh/(m <sup>2</sup> *mês)]
Janeiro	31	4,86	150,7
Fevereiro	28	4,84	135,5
Março	31	4,68	145,1
Abril	30	4,09	122,7
Mai	31	3,63	112,5
Junho	30	3,29	98,7
Julho	31	3,55	110,1
Agosto	31	4,53	140,4
Setembro	30	4,13	123,9
Outubro	31	4,37	135,5
Novembro	30	4,92	147,6
Dezembro	31	4,92	152,5

FONTE: (CRESESB)

De toda energia mensal incidente  $EI_{mês}$ , apenas uma parte é absorvida pela superfície do coletor ( $EA_{mês}$ ).

$$EA_{mês} = S_c \times F'_R(\tau\alpha) \times EI_{mês} \quad (5)$$

Onde,

$S_c$  superfície do coletor, em m<sup>2</sup>

$F'_R(\tau\alpha)$  fator adimensional fornecido pelo fabricante

Sendo,

$$F'_R(\tau\alpha) = F_R(\tau\alpha) \times \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \times \frac{F'_R}{F_R} \quad (6)$$

Onde,

$\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n}$  modificador do ângulo de incidência, adotado como sendo 0,96 para coletores com cobertura de vidro (COMGÁS/ABRINSTAL, 2011)

$\frac{F'_R}{F_R}$  Fator de correção do conjunto coletor – trocador, adotado como sendo 0,95 (COMGÁS/ABRINSTAL, 2011)

$F_R(\tau\alpha)$  Fator de eficiência óptica do coletor

Até o ano de 2018, os valores de  $F_R(\tau\alpha)$  dos coletores eram obtidos da tabela de eficiência disponibilizada pelo INMETRO. A partir de 2019, a coluna referente a este dado foi removida da tabela. No APÊNDICE A está a resposta do órgão sobre esta questão. Assim, foi necessário recorrer a literaturas internacionais sobre o assunto, adotando-se o valor de  $F_R(\tau\alpha) = 0,7$  para o coletor de tubos a vácuo (KOCER, ATMACA e ERTEKIN, 2014), resultando em  $F'_R(\tau\alpha) = 0,6384$ .

Para calcular a energia absorvida pelos coletores, é necessário saber a área ocupada por eles ( $S_c$ ). O método da Carta F recomenda que seja respeitada a seguinte condição:

$$50 < \frac{V_{armaz}}{S_c} < 100 \quad (7)$$

Desta forma, selecionou-se o modelo “Coletor Solar 30 Tubos” da Unisol Aquecedores, o qual possui 4,65m<sup>2</sup> de área coletora (INMETRO, 2021) e arbitrou-se 8 coletores. Desta forma, a relação  $V_{armaz}/S_c$  ficou em 80,64, dentro do estipulado pelo método. Vale ressaltar que todos os cálculos foram implementados no Excel e desta forma pode-se testar os valores e avaliar os impactos em todos os indicadores, até que se encontrasse padrões aceitáveis para o método.

Com a área dos coletores determinada, pôde-se calcular  $EA_{mês}$  e também o parâmetro  $D_1$ , que expressa a relação entre  $EA_{mês}$  e  $DE_{mês}$

TABELA 6 - PARÂMETRO D1

Mês	$DE_{mês}$ [kWh/mês]	$EI_{mês}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	$EA_{mês}$ [kWh/mês]	$D_1$
Janeiro	3796,0	150,7	3577,9	0,94
Fevereiro	3428,7	135,5	3218,4	0,94
Março	3957,5	145,1	3445,4	0,87
Abril	4142,5	122,7	2913,9	0,70
Maiο	4765,2	112,5	2672,4	0,56
Junho	4924,1	98,7	2344,0	0,48
Julho	5088,3	110,1	2613,5	0,51
Agosto	4926,7	140,4	3335,0	0,68
Setembro	4611,5	123,9	2942,4	0,64
Outubro	4442,1	135,5	3217,2	0,72
Novembro	3986,2	147,6	3505,3	0,88
Dezembro	3957,5	152,5	3622,1	0,92

FONTE: o autor (2022)

A energia perdida pelo coletor ( $EP_{mês}$ ) é expressa por:

$$EP_{mês} = S_c \times F'_R U_L \times (100 - T_{amb}) \times \Delta T \times K_1 \times K_2 \quad (8)$$

Onde,

$\Delta T$  intervalo de tempo em horas

$K_1$  fator de correção para armazenamento

$K_2$  fator de correção que relaciona as diferentes temperaturas

$F'_R U_L$  coeficiente global de perdas do coletor

$$K_1 = \left[ \frac{V_{armaz}}{75 - S_c} \right]^{-0,25} \quad (9)$$

$$K_2 = \frac{11,6 + 1,18T_{AC} + 3,86T_{AF} - 2,32T_{amb}}{100 - T_{amb}} \quad (10)$$

$$F'_R U_L = F_R U_L \times \frac{F'_R}{F_R} \times 10^{-3} \quad (11)$$

O coeficiente de perdas do coletor  $F_R U_L$ , assim como  $F_R(\tau\alpha)$  era antes determinado pelas tabelas de eficiência do INMETRO. Neste trabalho, adotou-se o valor de  $F_R U_L = 3,3$  para o coletor de tubo a vácuo (KOCER, ATMACA e ERTEKIN, 2014). Já o índice  $D_2$  relaciona a energia perdida pelo coletor e a demanda de energia mensal.

$$D_2 = \frac{EP_{mês}}{DE_{mês}} \quad (12)$$

TABELA 7- FATORES DE CORREÇÃO E PARÂMETROS DO COLETOR

Mês	$DE_{mês}$ [kWh/mês]	$T_{amb}$ [°C]	$T_{AF}$ [°C]	$\Delta T$ [horas]	$K_1$	$K_2$	$EP_{mês}$ [kWh/mês]	$D_2$
Janeiro	3796,0	21,5	19,5	744	0,98	1,1476	7676,28	2,02220
Fevereiro	3428,7	21,5	19,5	672	0,98	1,1476	6933,41	2,02220
Março	3957,5	20,5	18,5	744	0,98	1,1138	7545,06	1,90650
Abril	4142,5	18,5	16,5	720	0,98	1,0487	7047,70	1,70131
Mai	4765,2	15,5	13,5	744	0,98	0,9568	6888,97	1,44568
Junho	4924,1	13,5	11,5	720	0,98	0,8991	6412,77	1,30232
Julho	5088,3	13,5	11,5	744	0,98	0,8991	6626,53	1,30232
Agosto	4926,7	14,5	12,5	744	0,98	0,9276	6757,75	1,37165
Setembro	4611,5	15,5	13,5	720	0,98	0,9568	6666,74	1,44568
Outubro	4442,1	17,5	15,5	744	0,98	1,0173	7151,41	1,60990
Novembro	3986,2	19,5	17,5	720	0,98	1,0809	7174,69	1,79988
Dezembro	3957,5	20,5	18,5	744	0,98	1,1138	7545,06	1,90650

FONTE: o autor (2022)

Neste momento, é possível calcular a fração solar  $f$  mensal e a energia útil mensal coletada  $EU_{mês}$  por meio das expressões:

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245D_1^2 + 0,0018D_2^2 + 0,0215D_1^3 \quad (13)$$

$$EU_{mês} = f x DE_{mês} \quad (14)$$

TABELA 8 - FRAÇÃO SOLAR MENSAL E ENERGIA ÚTIL MENSAL

Mês	$DE_{mês}$ [kWh/mês]	$D_1$	$D_2$	$f$	$EU_{mês}$ [kWh]
Janeiro	3796,0	0,94	2,02220	0,64615	2452,791
Fevereiro	3428,7	0,94	2,02220	0,643725	2207,110
Março	3957,5	0,87	1,90650	0,606957	2402,058
Abril	4142,5	0,70	1,70131	0,504702	2090,741
Mai	4765,2	0,56	1,44568	0,413611	1970,940
Junho	4924,1	0,48	1,30232	0,355029	1748,207
Julho	5088,3	0,51	1,30232	0,385211	1960,058
Agosto	4926,7	0,68	1,37165	0,505184	2488,907
Setembro	4611,5	0,64	1,44568	0,472202	2177,553
Outubro	4442,1	0,72	1,60990	0,524929	2331,807
Novembro	3986,2	0,88	1,79988	0,618863	2466,913
Dezembro	3957,5	0,92	1,90650	0,63566	2515,652

FONTE: o autor (2022)

A fração solar anual  $F$  é determinada pela expressão:

$$F = \sum_1^{12} \frac{EU_{mês}}{DE_{mês}} \quad (15)$$

Desta forma, a fração solar anual é  $F=51,54\%$ . Ou seja, mais da metade da necessidade de água quente do hotel será suprida somente pelo sistema de aquecimento solar.

### 3.4 DIMENSIONAMENTO DA BOMBA DE CALOR

A metodologia a seguir foi indicada por um fabricante nacional, e é baseada em dezenas de projetos já implantados em hotéis em todo o Brasil. Para um correto dimensionamento, os seguintes fatores foram considerados:

- Local de instalação do sistema: sob a laje do último andar, com área livre suficiente para boa troca de temperatura entre o equipamento e o meio externo.
- Temperatura ambiente: considerada a média da temperatura do local nos meses de inverno, conforme TABELA 4: 14°C. Também foi arbitrado que esta será a temperatura de entrada na bomba de calor.
- Perfil de consumo de água quente: dados determinados anteriormente:
  - Volume diário de água quente = 4.492 litros
  - Intervalo entre banhos: 8h
  - Temperatura de armazenamento: 50°C
  - Temperatura de consumo: 45°C

Apesar da bomba de calor funcionar como um sistema auxiliar do solar, é necessário considerar a possibilidade de dias frios e chuvosos onde a contribuição solar seja mínima. Nestes casos, a demanda de água quente deverá ser suprida exclusivamente pela bomba de calor.

$$Q = m.c.\Delta T \quad (16)$$

Onde

$$m = \text{massa do volume de água} = \frac{V_{\text{Consumo}}}{2} \cong 2.246 \text{ kg}$$

No cálculo da massa, foi considerado a metade do volume porque haverá dois banhos diários. Assim, a bomba de calor deverá suprir esta necessidade no intervalo de tempo estipulado anteriormente.

$$c = \text{calor específico da água} = 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = T_{\text{arm}} - T_{\text{Entrada}} = 50^\circ\text{C} - 14^\circ\text{C} = 36^\circ\text{C}$$

Assim, o calor necessário para elevar em 36°C os 2.246 litros de água é:

$$Q = 2.246 \text{ kg} \cdot \frac{1 \text{ cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \cdot 36^\circ\text{C} = 80.856 \text{ Kcal}$$

Foi selecionada o equipamento modelo ID80H55 do fabricante Industek (FIGURA 4). Para uma temperatura ambiente de 14°C, a folha de dados do produto indica uma capacidade de 11.907 Kcal/h (INDUSTEK). Com essa informação é possível calcular o tempo necessário para aquecer o volume de água indicado anteriormente:

$$\text{Tempo} = \frac{80.856 \text{ Kcal}}{\frac{11.907 \text{ Kcal}}{\text{h}}} = 6,79 \text{ horas}$$

Sendo o tempo de intervalo entre banhos de 8 horas, o modelo selecionado atende aos dados estipulados.

### 3.5 DIMENSIONAMENTO DO AQUECEDOR A GÁS

A metodologia para cálculo do sistema central a gás é da COMGÁS/ABRINSTAL (2011).

#### 3.5.1 Volume diário de água quente

O volume diário de água quente é definido por:



$$V_{Diário} = \frac{V_{Consumo} \times (T_{Consumo} - T_{AF})}{T_{armaz} - T_{AF}} \quad (17)$$

A equação anterior nada mais é do que o volume de armazenamento do reservatório térmico solar já definido em 3.3.2, cujo valor é 3.000 litros.

### 3.5.2 Volume de água quente em uma hora do período de maior consumo

Nesta etapa, faz-se necessário recorrer a um gráfico que relacione o máximo volume consumido em uma hora  $V_{pico}$  com o volume diário de água quente  $V_{Diário}$ .

GRÁFICO 3 - FATOR DE SIMULTANEIDADE DO CONSUMO DE ÁGUA QUENTE



Fonte: COMGÁS/ABRINSTAL (2011)

Analisando o gráfico é possível identificar que para um volume diário de 3.000 litros têm-se  $V_{pico} = 1.600$  litros.

### 3.5.3 Volume mínimo de água quente armazenada

Este cálculo representa o volume do reservatório do aquecedor a gás, e

é determinado pela expressão:

$$V_{Armaz\ Gás} = V_{pico} \times F_{Armaz} \quad (18)$$

$F_{Armaz}$  é o fator de armazenamento, dado pela tabela a seguir.

TABELA 9 – FATOR DE ARMAZENAMENTO

Volume na hora de maior consumo (l)	Fator de Armazenamento ( $F_{Armaz}$ )
0 a 1.500	1/3
1.501 a 6.000	1/4
6.001 a 12.000	1/5
12.001 a 20.000	1/6
20.001 acima	1/7

FONTE: COMGÁS/ABRINSTAL (2011)

Considerando um fator de Farna armazenamento de  $\frac{1}{4}$ , têm-se:

$$V_{Armaz\ Gás} = 1.600 \times \frac{1}{4} = 400 \text{ litros}$$

O equipamento selecionado foi o reservatório térmico da marca Komeco, modelo KORT SD304 40AP.

#### 3.5.4 Volume de recuperação

O volume de recuperação  $V_{recup}$  é necessário para se determinar a potência dos aquecedores a gás do sistema, e é definido como a diferença do consumo de água quente máximo em uma hora  $V_{pico}$  e o volume do reservatório do sistema de aquecimento a gás  $V_{Armaz\ Gás}$ .

$$V_{recup} = V_{pico} - V_{armaz} = 1.600 - 400 = 1.200 \text{ litros/hora} \quad (19)$$

#### 3.5.5 Potência do aquecedor a gás

Com base no volume de recuperação determinado anteriormente, a

potência do aquecedor a gás é dada por:

$$Q = V_{recup} \times c \times (T_{armaz} - T_{AF}) \quad (20)$$

Onde:

$Q$  potência útil do(s) aquecedor(es) [Kcal/h]

$c$  calor específico da água [1Kcal/(kg°C)]

$T_{armaz}$  temperatura de armazenamento da água [°C]

$T_{AF}$  temperatura da água fria do local de instalação [°C]

Assim, a potência necessária para o sistema aquecedor a gás é:

$$Q = 1.200 \times 1 \times (50 - 18) = 38.400 \text{ kcal/h}$$

Selecionado o aquecedor digital de 30 litros da fabricante Rheem, o qual possui uma potência de 42.570 kcal/h.

FIGURA 15 - AQUECEDOR A GÁS DIGITAL 30 LITROS



FONTE: RHEEM (2022)

### 3.6 COTAÇÕES DA SOLUÇÃO PROPOSTA

As cotações dos produtos foram realizadas por meio da internet e alguns distribuidores. Já a parte da mão de obra foi orçado com uma empresa local.

TABELA 10 - COTAÇÕES DOS PRODUTOS

Descrição	Quant.	Fabricante	Modelo	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Coletor Tubo a Vácuo 30 tubos	8	UNISOL	Coletor Solar 30 Tubos	5.404,90	43.239,20
Bomba Circulação	4	KOMECO	TP-40 Bronze	436,00	1.744,00
Bomba de Calor	1	ID80H55	INDUSTEK	22.954,00	22.954,00
Aquecedor a Gás	1	RHEEM	RB3AP30PVPTIC	3.299,00	3.299,00
Reservatório Solar 3000 Litros	1	KOMECO		25.624,00	25.624,00
Reservatório Gás 400 litros	1	KOMECO	KORT SD304 40AP	4.236,00	4.236,00
Controlador 1	1	FULL GAUGE	Microsol BMP Advanced	425,82	425,82
Controlador 2 e 3	2	FULL GAUGE	Microsol SWP Advanced	277,45	554,90
Válvulas, tubulações de interligação e acessórios	1			5.000,00	5.000,00
Total					107.076,92

Fonte: o autor (2022)

Como o hotel já iria fazer toda distribuição de tubulação de água quente entre os quartos, esse custo não foi contabilizado.

A mão de obra para instalação da solução foi orçada em R\$17.000,00. Assim, os gastos relacionados à implantação do sistema resumem-se na tabela seguinte.

TABELA 11 - PREÇO DA SOLUÇÃO PROPOSTA

Item	Preço [R\$]
Produtos	107.076,92
Mão de Obra	17.000,00
<b>Total</b>	<b>124.076,92</b>

FONTE: o autor (2022)

### 3.7 ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA DOS CHUVEIROS ELÉTRICOS

Cada um dos cinquenta quartos do hotel possui um chuveiro elétrico de 7.500 W, modelo Advanced Eletrônica da marca Lorenzetti. É um chuveiro que possui grande vazão de água devido ao seu grande espalhador.

FIGURA 16 - IMAGEM DO CHUVEIRO INSTALADO

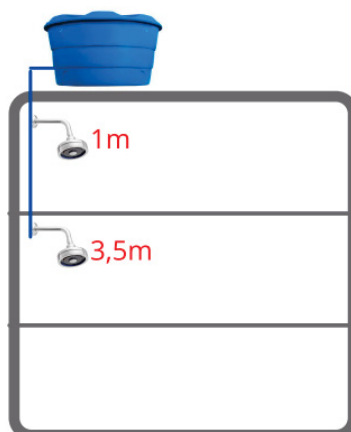


FONTE: Lorenzetti (2021).

Para que seja possível a determinação da estimativa de consumo dos chuveiros, foi necessário recorrer a dados climáticos do local e também a seleção de alguns parâmetros.

A rede hidráulica é abastecida por caixas d'água posicionadas na laje do segundo pavimento. Como existem chuveiros no primeiro e segundo andares, cada andar está sujeito a uma pressão de água diferente e conseqüentemente uma vazão diferente.

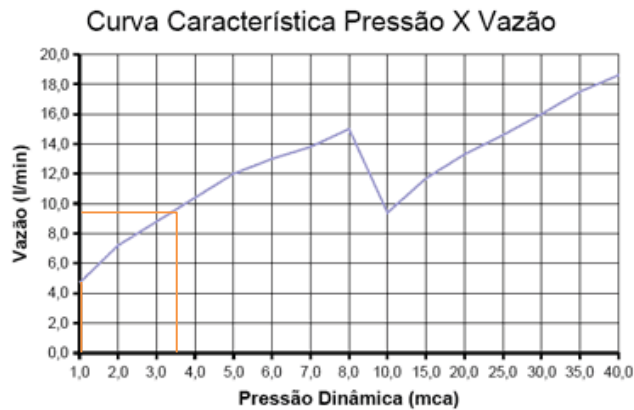
FIGURA 17 - ILUSTRAÇÃO DOS NÍVEIS DE INSTALAÇÃO DOS CHUVEIROS



FONTE: O autor (2021).

Recorrendo a tabela de Pressão x Vazão do chuveiro instalado, pôde-se adotar as vazões dos chuveiros de cada andar como sendo: segundo andar = 5l/min e primeiro andar = 9l/min.

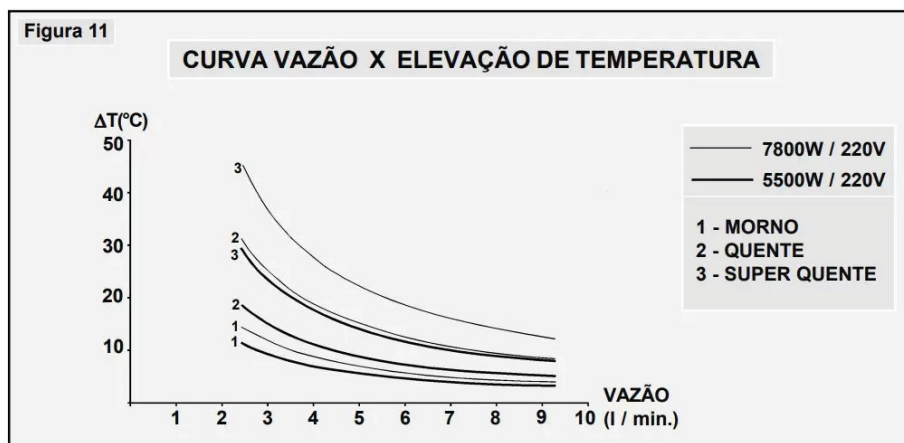
GRÁFICO 4 - CURVA DE VAZÃO X PRESSÃO DO CHUVEIRO



Fonte: Lorenzetti (2021).

Encontradas as vazões e adotando-se a temperatura da água que entra nos chuveiros como sendo a temperatura média mensal, por meio do gráfico de Vazão x Elevação de temperatura foi possível determinar a potência e conseqüente consumo de energia elétrica mensal dos chuveiros de cada andar.

GRÁFICO 5 - CURVA DE VAZÃO X ELEVÇÃO DE TEMPERATURA



Fonte: Lorenzetti (2021).

O número de banhos  $N_b$  de cada andar está relacionado à quantidade de chuveiros do andar (25) e à taxa de ocupação dos quartos e do hotel.

$$N_b = 25xN_h \times T_x = 23,4 \text{ banhos} \quad (21)$$

Nas tabelas a seguir, a temperatura de banho considerada foi de 40°C e o tempo de cada banho de 12 minutos.

TABELA 12 - CONSUMO ENERGÉTICO DO SEGUNDO ANDAR

Mês	Temperatura Entrada (°C)	$\Delta T$ (°C)	Vazão (l/min)	Potência (W)	N° Banhos	Consumo (kWh)
Janeiro	21,5	18,5	5	5000	23,4	702
Fevereiro	21,5	18,5	5	5000	23,4	702
Março	20,5	19,5	5	6000	23,4	842,4
Abril	18,5	21,5	5	7500	23,4	1053
Mai	15,5	24,5	5	7500	23,4	1053
Junho	13,5	26,5	5	7500	23,4	1053
Julho	13,5	26,5	5	7500	23,4	1053
Agosto	14,5	25,5	5	7500	23,4	1053
Setembro	15,5	24,5	5	7500	23,4	1053
Outubro	17,5	22,5	5	7500	23,4	1053
Novembro	19,5	20,5	5	6000	23,4	842,4
Dezembro	20,5	19,5	5	6000	23,4	842,4
Consumo Anual (kWh)						11302,2

FONTE: o autor (2021)

TABELA 13 - CONSUMO ENERGÉTICO DO PRIMEIRO ANDAR

Mês	Temperatura Entrada (°C)	$\Delta T$ (°C)	Vazão (l/min)	Potência (W)	N° Banhos	Consumo (kWh)
Janeiro	21,5	18,5	9	7500	23,4	1053
Fevereiro	21,5	18,5	9	7500	23,4	1053
Março	20,5	19,5	9	7500	23,4	1053
Abril	18,5	21,5	9	7500	23,4	1053
Mai	15,5	24,5	9	7500	23,4	1053
Junho	13,5	26,5	9	7500	23,4	1053
Julho	13,5	26,5	9	7500	23,4	1053
Agosto	14,5	25,5	9	7500	23,4	1053
Setembro	15,5	24,5	9	7500	23,4	1053
Outubro	17,5	22,5	9	7500	23,4	1053
Novembro	19,5	20,5	9	7500	23,4	1053
Dezembro	20,5	19,5	9	7500	23,4	1053
Consumo Anual (kWh)						12636

FONTE: o autor (2021).

Pode-se observar que para os chuveiros posicionados no primeiro pavimento, devido à vazão de 9 l/min, o mesmo opera o ano todo na sua potência

máxima. Mesmo assim, na maior parte do ano o chuveiro não irá atingir a temperatura ideal de banho, pois recorrendo ao GRÁFICO 5, na potência de 7.500W o chuveiro tem capacidade de elevar a temperatura da água em aproximadamente 12°C, número esse inferior à necessidade do ano todo. Pressupõem-se que nestes períodos o usuário consiga o conforto no banho diminuindo sua vazão por meio do registro. Inclusive, isto era motivo de constantes reclamações de hóspedes em relação ao conforto do banho.

Sendo assim, o consumo de energia e preço para aquecimento de água de banho do empreendimento resume-se na tabela a seguir, considerando um valor de tarifa energética de 0,83 R\$/kWh – cliente atendido no Grupo B, classe B3 Comercial (Copel, 2022).

TABELA 14 - GASTO ANUAL COM CHUVEIRO ELÉTRICO

Pavimento	Consumo Anual (kWh)	Preço Tarifa (R\$/kWh)	Gasto Anual (R\$)	
1º	12636	0,83156	R\$	10.507,59
2º	11302,2	0,83156	R\$	9.398,46
Total	23938,2	0,83156	R\$	19.906,05

FONTE: O autor (2022)

### 3.8 CÁLCULO DA ECONOMIA COM O SISTEMA PROPOSTO

Para analisar o consumo do sistema auxiliar com a bomba de calor, foi utilizado a fração solar mensal e o consumo de água quente mensal  $CM$ , calculado como sendo o número de dias do mês vezes o consumo diário de água quente (4.493 litros). O  $\Delta T$  da tabela seguinte representa a diferença de temperatura de consumo (50°C) e a temperatura média mensal. Para determinar o tempo de funcionamento da bomba de calor, utilizou-se sua capacidade calorífica a 14°C (11.907Kcal/h) e potência instantânea de 4,3KW (INDUSTEK)



TABELA 15 - GASTO DA BOMBA DE CALOR

Mês	CM [litros]	f	Volume não Aquecido [litros]	Delta T [°C]	Q [Kcal]	Horas de Funcionamento	Consumo Energia [kWh/mês]	Gasto [R\$]
Janeiro	139283	0,65	49300	33,5	1651548	138,7	596,4	495,96
Fevereiro	125804	0,64	44834	33,5	1501939	126,1	542,4	451,04
Março	139283	0,61	54758	34,5	1889163	158,7	682,2	567,32
Abril	134790	0,50	66773	36,5	2437225	204,7	880,2	731,91
Mai	139283	0,41	81685	39,5	3226551	271,0	1165,2	968,94
Junho	134790	0,35	86945	41,5	3608214	303,0	1303,0	1083,56
Julho	139283	0,39	85640	41,5	3554053	298,5	1283,5	1067,29
Agosto	139283	0,51	68932	40,5	2791753	234,5	1008,2	838,37
Setembro	134790	0,47	71154	39,5	2810564	236,0	1015,0	844,02
Outubro	139283	0,52	66182	37,5	2481835	208,4	896,3	745,30
Novembro	134790	0,62	51387	35,5	1824252	153,2	658,8	547,83
Dezembro	139283	0,64	50761	34,5	1751251	147,1	632,4	525,91
Totais						2479,9	10663,6	8867,45

Fonte: o autor (2022)

O gasto com gás não foi contabilizado neste caso porque está sendo considerado que a bomba de calor irá suprir toda a diferença não disponibilizada pelo sistema de aquecimento solar. É sabido que em dias muito frios o aquecimento a gás irá entrar em funcionamento, mas por funcionar poucas vezes no ano, sua contribuição financeira não foi considerada.

Desta forma, a economia com o sistema no primeiro ano será:

TABELA 16 - ECONOMIA ANUAL

Item	Gasto Anual [R\$]	Economia Anual [R\$]
Chuveiros Elétricos	19906,05	11038,60
Aquecimento Solar, a Gás e bomba de calor	8867,45	

FONTE: o autor (2022)

### 3.9 ANÁLISE FINANCEIRA DA SOLUÇÃO PROPOSTA

Para fins de análise financeira, considerou-se um reajuste anual na tarifa de energia elétrica de 9%, apesar do acumulado nos últimos 7 anos ser de aproximadamente 13,16% ao ano (COPEL, 2022). Já a taxa média de atratividade (TMA) informada pelo proprietário foi de 7% e uma previsão de 1% do valor gasto no sistema com manutenções no primeiro ano, reajustadas

conforme tarifa de energia. Com isso, têm-se o seguinte cenário.

TABELA 17 - FLUXO DE CAIXA

Ano	Conta com Chuveiros Elétricos (R\$)	Conta com Aquecimento Solar (R\$)	Economia (R\$)	Investim. (R\$)	Manutenção (R\$)	Fluxo de Caixa anual (R\$)	Fluxo de Caixa Acumulado (R\$)
0				-124.077		-124.077	-124.077
1	19.906	8.867	11.039	0	-1.241	9.798	-114.279
2	21.299	9.488	11.811	0	-1.340	10.471	-103.808
3	22.790	10.152	12.638	0	-1.447	11.191	-92.617
4	24.386	10.863	13.523	0	-1.563	11.960	-80.657
5	26.093	11.623	14.469	0	-1.688	12.781	-67.876
6	27.919	12.437	15.482	0	-1.823	13.659	-54.217
7	29.874	13.308	16.566	0	-1.969	14.597	-39.620
8	31.965	14.239	17.726	0	-2.126	15.599	-24.021
9	34.202	15.236	18.966	0	-2.297	16.670	-7.351
10	36.596	16.302	20.294	0	-2.480	17.814	10.463
11	39.158	17.444	21.715	0	-2.679	19.036	29.499
12	41.899	18.665	23.235	0	-2.893	20.342	49.840
13	44.832	19.971	24.861	0	-3.124	21.737	71.577
14	47.970	21.369	26.601	0	-3.374	23.227	94.804
15	51.328	22.865	28.463	0	-3.644	24.819	119.623
16	54.921	24.466	30.456	0	-3.936	26.520	146.143
17	58.766	26.178	32.588	0	-4.251	28.337	174.480
18	62.880	28.011	34.869	0	-4.591	30.278	204.758
19	67.281	29.971	37.310	0	-4.958	32.352	237.109
20	71.991	32.069	39.921	0	-5.355	34.567	271.676
21	77.030	34.314	42.716	0	-5.783	36.933	308.609
22	82.422	36.716	45.706	0	-6.246	39.460	348.069
23	88.192	39.286	48.905	0	-6.745	42.160	390.229
24	94.365	42.036	52.329	0	-7.285	45.044	435.272
25	100.971	44.979	55.992	0	-7.868	48.124	483.396

FONTE: o autor (2022)

O retorno do investimento (*payback*) se dá em aproximadamente 9 anos e 5 meses, e o investimento é considerado como viável quando analisado para um prazo longo, acima de 15 anos. Em prazos menores (5 e 10 anos), a taxa interna de retorno (TIR) é menor que a TMA, resultando em um valor presente líquido (VPL) negativo.

TABELA 18 - VPL E TIR

Anos	VPL	TIR
25	R\$ 101.347,74	13%
20	R\$ 56.880,82	11%
15	R\$ 12.090,52	8%
10	-R\$ 33.008,44	1%
5	-R\$ 78.402,06	-21%

FONTE: o autor (2022)

## 4 CONCLUSÃO

A solução apresentada foi fruto de muita pesquisa com fabricantes, empresas especializadas e em literaturas nacionais e internacionais, buscando trazer as soluções mais eficientes disponíveis no mercado. O aquecimento solar de água usa o Sol como principal fonte, e é uma energia limpa, gratuita e ininterrupta. Traz diversas vantagens em relação ao sistema tradicional com chuveiros, como redução no consumo energético, na diversificação da matriz energética brasileira, redução da demanda no horário de ponta, redução de gases estufas, não tem risco de choque elétrico, diminuição de investimentos em instalações elétricas e disponibilidade de água quente mesmo na falta da energia elétrica (MARLINALDO DE MEDEIROS, MACEDO FÉLIX, *et al.*, 2014)

Pode-se dizer que o sistema de aquecimento solar proposto será viável financeiramente quando realizada a análise pra prazos longos, acima de 15 anos, o que pode não ser atrativo para alguns investidores. Neste caso, o proprietário do hotel resolveu investir na solução, pois isso trará outras vantagens que não estão implícitas neste estudo. A principal delas é o conforto do banho pelos hóspedes, o que, nas palavras dele, “fideliza o cliente e traz vantagem competitiva em relação à concorrência”. Quantificar este aumento de hóspedes devido ao banho confortável não é uma tarefa simples, porém é algo que poderia ser levantado para fins de análise financeira.

Até a conclusão deste trabalho, as obras referentes ao aquecimento solar não haviam iniciado, visto que esta será uma das últimas etapas da reforma do empreendimento.

Conforme mostrado nos capítulos anteriores, o sistema de aquecimento solar possui várias peculiaridades e seu projeto e dimensionamento deve ser acompanhado por um profissional habilitado, pois quando mal elaborado pode ser perigoso aos usuários. Aliado ao elevado investimento inicial, pode-se dizer estes são os principais motivos que levam os consumidores a optarem o chuveiro elétrico em vez do aquecimento solar.

Fica aqui o registro de algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Análise financeira completa da solução, incluindo: valores gastos na instalação hidráulica necessária ao aquecimento solar; levantamento de gastos com instalação elétrica dos chuveiros;
- Monitoramento da solução implementada para validação do trabalho;
- Inserção de softwares e medições para gerenciamento da planta.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20consumption&indicator=TotElecCons>>. Acesso em: 01 ago. 2021.

ABESCO. O que é Eficiência Energética. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/o-que-e-eficiencia-energetica-ee/>>. Acesso em: 16 out. 2021.

AQUAKENT. Sistema de Aquecimento Solar Acoplado. Disponível em: <<http://aquakent.com.br/ak-240.php>>. Acesso em: 12 jan. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA – ABINEE. História do Chuveiro Elétrico. Disponível em: <<http://www.banhoeconomico.com.br/hist2.htm>>. Acesso em: 17 jun. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15569. Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto - Projeto e Instalação, Rio de Janeiro, 2008.

BRITANNICA. Solar Water Heater. Disponível em: <<https://www.britannica.com/technology/solar-water-heater>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

COMGÁS/ABRINSTAL. Manual Técnico para Projeto e Construção de Sistemas de Aquecimento Solar & Gás Natural. Sistemas de Aquecimento de Água para Edifícios através da associação Energia Solar e Gás, mar. 2011.

COPEL. Tarifas de Energia Elétrica. Copel. Disponível em: <<https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/tarifas-de-energia-eletrica/>>. Acesso em: 30 jan. 2022.

CRESESB. Potencial Solar - SunData v 3.0. Disponível em: <<http://www.cresesb.copel.br/index.php#data>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

ELETROBRÁS/PROCEL. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso - Ano Base 2005 - Classe Residencial. [S.l.]: Gráfica da Eletrobrás - DAAG, 2007. p. 15.

ELETROBRAS/PROCEL. Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial. [S.l.]: [s.n.], 2019. p. 323-324.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. BEN Interativo. Consumo de energia por setor – Setor residencial. Disponível em: <<http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/ben/>>. Acesso em: 02 nov. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Consumo Nacional de Energia Elétrica por Classe. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica/consumo-anual-de-energia-eletrica-por-classe-\(nacional\)](https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica/consumo-anual-de-energia-eletrica-por-classe-(nacional))>. Acesso em: 01 ago. 2021.

HELIOTEK. Informativo Técnico - Desmistificando o Tubo de Vácuo. HELIOTEK, ago. 2014. Disponível em: <<https://www.heliotek.com.br/para-profissionais/biblioteca-tecnica>>. Acesso em: 12 jan. 2022.

HELIOTEK. Reservatórios Térmicos. Disponível em: <<https://www.heliotek.com.br/para-casa/aquecedor-solar-para-banho/reservatorios-termicos>>. Acesso em: 09 nov. 2021.

HIDRAUNET. Aquecedor Solar Piscina Infinity. Disponível em: <<https://www.hidraunet.com.br/aquecedor-solar-piscina-infinity-m2.html>>. Acesso em: 19 ago. 2021.

INDUSTEK. Bombas de Calor para Aquecimento de Banho. Disponível em: <<https://industek.com.br/bombas-de-calor-banho/>>. Acesso em: 19 nov. 2021.

INMETRO. Tabelas de Consumo/Eficiência Energética - Coletor Solar - Aplicação Banho, 2021. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/coletores-solares.asp>>. Acesso em: 12 dez. 2021.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. Atlas Climático do Estado do Paraná. Londrina: [s.n.], 2019. p. 39-55.

KDT. Duchas Inteligentes Digitais. Disponível em: <[https://www.kdt.com.br/duchas\\_inteligentes/](https://www.kdt.com.br/duchas_inteligentes/)>. Acesso em: 06 jan. 2022.

KOCER, A.; ATMACA, I.; ERTEKIN, C. A comparison of flat plate and evacuated tube solar collectors with f-chart method, Kabul, 2014. 77-88.

KOMEÇO. Coletores Solar Tubo a Vácuo. Disponível em:  
<<https://www.komeco.com.br/categoria-produto/coletor-solar-tubo-a-vacu/>>. Acesso em: 19 ago. 2021.

LORENZETTI. Advanced Eletrônica. Disponível em:  
<<https://www.lorenzetti.com.br/produto/advanced-eletronica>>. Acesso em: 12 dez. 2021.

LORENZETTI. Loren Trio. Disponível em:  
<<https://www.lorenzetti.com.br/produto/loren-trio-1100>>. Acesso em: 05 dez. 2021.

MARLINALDO DE MEDEIROS, J. et al. Avaliação técnica e viabilidade econômica de um sistema de aquecimento solar em um edifício residencial. Revista Principia, João Pessoa, p. 57-71, Junho 2014.

ORBIS. QUAL A DIFERENÇA ENTRE AQUECEDORES DE PASSAGEM E ACUMULAÇÃO? Disponível em: <<https://orbisdobrasil.com.br/diferenca-aquecedores-passagem-e-acumulacao/>>. Acesso em: 18 ago. 2021.

PMSMS - PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO MATEUS DO SUL. Dados Gerais. Disponível em:  
<<https://www.saomateusdosul.pr.gov.br/portal/servicos/1002/dados-gerais/>>. Acesso em: 18 nov. 2021.

RADIOARTE. Aquecedor Central Flex Digital Cardal 220v 10500w. Disponível em: <<https://www.radioarte.com.br/produtos/aquecedor-central-flex-digital-cardal-220v-10500w1/>>. Acesso em: 12 jan. 2022.

RHEEM. Aquecedor Digital 30 Litros. Disponível em:  
<<https://www.rheem.com.br/produtos/aquecedor-de-passagem-digital-30-litros/>>. Acesso em: 09 jan. 2022.

RHEEM. Aquecedores a Gás. Disponível em:  
<<https://www.rheem.com.br/categoria-produto/aquecedores-a-gas/>>. Acesso em: 18 ago. 2021.



## 5 APÊNDICE A – RESPOSTA INMETRO

“Prezado cidadão,

Em consulta a Diretoria de Avaliação da Conformidade (Dconf), foi informado o seguinte:

" Em resposta à sua manifestação, prestamos os seguintes esclarecimentos:

1) As colunas referentes aos coeficientes de caracterização da curva de desempenho foram removidas das tabelas após discussão e por solicitação das partes interessadas, devido a inconsistências identificadas nos dados informados nas tabelas. Recentemente, iniciamos um processo de revisão das tabelas, ainda sem data de conclusão, e esperamos posteriormente publicá-las com os respectivos coeficientes. Para esse momento, encaminhamos anexas as tabelas antigas com tais colunas, com a ressalva de que os dados podem apresentar inconsistências. Contudo, recomendamos que os valores sejam consultados diretamente com os respectivos fornecedores, ou com os laboratórios de ensaios acreditados, que são:

- LIP/IPT - dmessina@ipt.br; dss@ipt.br
- Green/PUC Minas - danielsb@pucminas.br; lucas.faria@pucminas.br
- Scitec - matheus.santos@scitec.com.br; dallacosta@scitec.com.br

2) Os coeficientes de caracterização da curva de desempenho utilizados para os coletores de tubo a vácuo são os mesmos coeficientes para os coletores planos fechados, mas há diferença quando os coletores de tubo a vácuo estão em sistemas acoplados. Os coeficientes, com base na norma ABNT NBR 15747, são:

- Coletores abertos:  $\gamma_0(1-b_u)$ ,  $(b_1+b_2u)$
- Coletores fechados:  $\gamma_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$
- Coletores em Sistemas acoplados:  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ "

Atenciosamente,

SIC do Inmetro”