

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CHRISTIAN SOUZA DE OLIVEIRA
DAVI JOSÉ OLIVEIRA DE SOUZA IRLANDA
LEONARDO JÚDICE BASTOS
MICHEL BARBOSA AGOSTINHO DE SOUZA**

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE
TERMOACUMULAÇÃO DE ÁGUA QUENTE COM MATRIZ SOLAR**

VOLTA REDONDA

2017

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE
TERMOACUMULAÇÃO DE ÁGUA QUENTE COM MATRIZ SOLAR**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica do UniFOA como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Alunos:

Christian Souza de Oliveira

Davi José Oliveira de Souza Irlanda

Leonardo Júdice Bastos

Michel Barbosa Agostinho de Souza

Orientador:

Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe

Coorientador:

Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira

VOLTA REDONDA

2017

FOLHA DE APROVAÇÃO

Alunos:

Christian Souza de Oliveira
Davi José Oliveira de Souza Irlanda
Leonardo Júdice Bastos
Michel Barbosa Agostinho de Souza

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE TERMOACUMULAÇÃO
DE ÁGUA QUENTE COM MATRIZ SOLAR

Orientador:

Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe

Coorientador:

Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira

Banca Examinadora:

Prof. Alexandre Fernandes Habibe, Doutor / UniFOA

Prof. Alexandre Alvarenga Palmeira, Doutor / UniFOA

Monique Osorio Talarico da Conceição, Doutora / UniFOA

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus, o criador e consumidor de todas as coisas, por nos conceder saúde e determinação. A Ele toda Honra e toda Glória.

Aos professores orientadores, Doutor Alexandre Fernandes Habibe e Doutor Alexandre Alvarenga Palmeira, pela dedicação em nos orientar com excelência.

Aos professores, Mestre Jayme Monteiro Cardoso e o Especialista Adilson Gustavo do Espírito Santo pela revisão e acertos neste trabalho.

Ao senhor Joel Agostinho de Souza, que nos concedeu autorização e confiou a nós sua propriedade para a realização dos estudos apresentados neste trabalho.

Às nossas famílias, em especial aos nossos pais, que mediante grande esforço e com muita determinação puderam nos propiciar este momento, fornecendo apoio incondicional, possuindo paciência e nos orientando em momentos de dificuldade.

RESUMO

Com o decorrer dos séculos o homem vem buscando fontes alternativas e eficientes para produzir a energia necessária ao seu desenvolvimento. Neste cenário, a possibilidade de acumular energia torna-se extremamente útil. O presente trabalho consiste no estudo técnico da termoacumulação, que é o acúmulo de energia térmica. Baseando-se na literatura estudada, é desenvolvido um sistema de termoacumulação de água quente com matriz solar para um empreendimento da região Sul Fluminense, agregando assim inovação, eficiência e sustentabilidade ao projeto. Após a determinação das condições de operação e o estabelecimento da especificação dos componentes do sistema, é realizada uma análise econômica que revela a viabilidade econômica do projeto, assegurando o retorno do investimento em 46 meses.

Palavras chave: termoacumulação; energia solar; sustentabilidade; análise econômica.

ABSTRACT

Throughout the centuries man has been seeking alternative and efficient sources to produce the energy necessary for his development. In this scenario, the possibility of accumulating energy becomes extremely useful. The present work consists of the technical study of the thermal accumulation, which is the accumulation of thermal energy. Based on the literature studied, a thermal accumulation system of hot water with solar power is developed for an enterprise in the Sul Fluminense region, thus adding innovation, efficiency and sustainability to the project. After determining the operating conditions and establishing the specification of the components of the system, an economic analysis is carried out that reveals the economic viability of the project, ensuring the return of the investment in 46 months.

Key words: thermal accumulation; solar energy; sustainability; economic analysis.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1. Energia.....	15
2.2. Energia Elétrica.....	17
2.3. Sistemas de Energia Alternativa	18
2.4. Energia Solar	20
2.4.1. Definição.....	20
2.4.2 Fluxo Solar.....	20
2.4.2.1. Radiação Direta e Difusa.....	21
2.4.3. Tipos de Aproveitamento da Energia Solar	22
2.4.3.1. Sistema passivo de captação de energia solar	23
2.4.3.2. Sistemas de geração de energia por célula solar fotovoltaica.....	24
2.4.3.3. Sistema de geração de energia em satélites.....	25
2.4.3.4. Centrais térmicas solares	25
2.4.3.5. Aquecimento solar.....	27
2.4.3.5.1. Aquecimento solar no Brasil.....	28
2.4.3.5.2. Uso de aquecimento solar para banho.....	31
2.4.3.5.3. Uso do aquecimento solar em construções multifamiliares.....	35
2.5. Placas coletoras.....	36
2.5.1. Armazenamento de energia térmica	43
2.6. Energia Elétrica no Brasil.....	44
2.6.1. Sistemas e Geração	45
2.6.2. Desafios futuros da operação do Sistema Interligado Nacional.....	46
2.6.3. Atendimento da demanda horária.....	47
2.6.4. Considerações gerais sobre o Sistema Elétrico Brasileiro.....	48
2.7. Termoacumulação	49
2.7.1. Termoacumulação de água fria	50
2.7.2. Termoacumulação de água quente	51
2.7.2.1. Características de funcionamento dos termoacumuladores elétricos.....	52
2.7.2.2. Dispositivos de segurança nos termoacumuladores	53
2.7.2.3. Tipos de instalações	56

2.7.2.4. Esquema de montagem de termoacumuladores	57
2.7.2.4.1. Pequenas capacidades	57
2.7.2.4.2. Termoacumuladores murais	59
2.7.2.4.3. Termoacumuladores de tipo estáveis.....	61
2.7.2.5. Capacidade e consumo dos termoacumuladores com resistência elétrica.....	62
2.7.2.5.1. Consumo elétrico	62
2.7.2.5.2. Capacidade	62
2.7.2.6. Termoacumuladores com mais de uma fonte de energia.....	63
3. METODOLOGIA	65
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
4.1. Determinação da capacidade do tanque acumulador	70
4.2. Cálculo da demanda energética para aquecer a água do tanque.....	77
4.3. Dimensionamento da área coletora	78
4.4. Especificação dos equipamentos do sistema	85
4.5. Orçamento do sistema	90
5. ANÁLISE ECONÔMICA	92
5.1. Gasto com sistema utilizando chuveiros elétricos.....	92
5.2. Fluxo de caixa	93
5.3. Payback	94
5.4. Taxa Interna de Retorno - TIR	95
5.5. Conclusão da análise econômica.....	96
6. CONCLUSÃO	97
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Consumo global de energia, 1970-2025	16
Figura 02: Ilustração das conversões entre diferentes formas de energia	18
Figura 03: Movimento da Terra ao redor do Sol.....	21
Figura 04: Distribuição direcional da radiação solar incidente na superfície Terrestre. (a) Distribuição real. (b) Aproximação difusa.....	22
Figura 05: Exemplo de construção que utiliza o sistema passivo.	24
Figura 06: Exemplo esquemático do sistema fotovoltaico.....	25
Figura 07: Sistema coletor distribuído, utilizando superfícies parabólicas	26
Figura 08: Esquema de uma central térmica solar com a utilização de heliostatos ..	27
Figura 09: Evolução do mercado nacional de aquecedores solares	29
Figura 10: Percentual da utilização do aquecimento solar por setor.	29
Figura 11: Fontes de energia utilizadas para aquecimento de água destinada para banho	30
Figura 12: Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial	32
Figura 13: Curva de carga diária média residencial.	32
Figura 14: Curva de carga do Sistema Elétrico Brasileiro (SEB).....	33
Figura 15: Aquecimento de água nas residências brasileiras.	34
Figura 16: Hábito de uso do chuveiro elétrico, dia típico.....	35
Figura 17: Aquecimento de água da rede hoteleira brasileira.	36
Figura 18: Participação de cada modelo de coletor no mercado internacional	37
Figura 19: Características gerais de um sistema de aquecimento	38
Figura 20: Coletor de placa plana	38
Figura 21: Corte lateral de um coletor de placa plana (CPP).	39
Figura 22: Placas absorvedoras de coletor solar	40
Figura 23: Sistema solar de água quente residencial com trocador de calor.	41
Figura 24: Aquecedor de água por lote ou batelada (bread-box) para obtenção de água quente residencial	42
Figura 25: Sistema de aquecimento residencial de água por termossifonamento	43
Figura 26: Distribuição de geração das fontes energéticas no Brasil.....	45
Figura 27: Contribuição das fontes na capacidade instalada 2015 à 2024	47

Figura 28: Contribuição de fontes geradoras na capacidade instalada em dezembro de 2024	47
Figura 29: Representação dos elementos de um termoacumulador elétrico	52
Figura 30: Válvula de segurança para termoacumuladores.	54
Figura 31: Sifão utilizado em termoacumuladores.	54
Figura 32: Vaso de expansão para termoacumuladores.	55
Figura 33: Passador termostático utilizado em termoacumuladores	55
Figura 34: Redutor de pressão utilizado em termoacumuladores.	56
Figura 35: Instalação do tipo bi-tubo; um tubo para água fria e outro para quente. ..	56
Figura 36: Instalação do tipo “polvo”	57
Figura 37: Reservatório suspenso com válvula integrada na torneira	58
Figura 38: Reservatório debaixo de bancada com válvula integrada na torneira	58
Figura 39: Reservatório debaixo de bancada com válvula separada	58
Figura 40: Esquema de montagem de termoacumulador horizontal. Alimentação por baixo	59
Figura 41: Esquema de montagem de termoacumulador vertical	60
Figura 42: Esquema de montagem de termoacumulador horizontal. Alimentação ao topo.	60
Figura 43: Esquema de montagem de termoacumulador estável vertical	61
Figura 44: Ilustração de um termoacumulador com serpentina para troca de calor ..	63
Figura 45: Acumulador equipado com um trocador de calor conectado à uma caldeira e uma resistência elétrica	64
Figura 46: Acumulador equipado com um trocador de calor ligado a um dispositivo de aquecimento (bomba de calor ou painéis solares) e um segundo trocador de calor acoplado a uma caldeira.	64
Figura 47: Metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto.	65
Figura 48: Vista geral do empreendimento	68
Figura 49: Vista frontal do empreendimento.	69
Figura 50: Empreendimento em construção	69
Figura 51: Planta baixa das 12 suítes	70
Figura 52: Suítes do empreendimento em construção	70
Figura 53: Vista frontal contendo cota entre o acumulador e o ponto de tiragem	71
Figura 54: Curva vazão x pressão da Ducha Balance 12	71
Figura 55: Mapa da média anual de temperatura obtido por interpolação Krigging ..	76

Figura 56: Irradiação solar difusa média anual no estado do Rio de Janeiro.....	80
Figura 57: Irradiação solar direta média anual no estado do Rio de Janeiro	81
Figura 58: Detalhe do caimento do telhado para posicionamento das placas coletoras.....	83
Figura 59: Área de posicionamento dos coletores.	83
Figura 60: Vista lateral do madeiramento do telhado, detalhando o ângulo de inclinação do mesmo.....	84
Figura 61: Arranjo das placas coletoras.	85
Figura 62: Reservatório Térmico Heliotek	86
Figura 63: Coletor Solar MC10 Evolution Heliotek	87
Figura 64: Chuveiro com tubo de parede Deca Balance 12.....	88
Figura 65: Tê Misturador de Transição Aquatherm	88
Figura 66: Registro de chuveiro Aquatherm.....	89
Figura 67: Tubo CPCV Aquatherm.....	90
Figura 68: Fluxo de Caixa do projeto	93
Figura 69: Estimativa de <i>Payback</i> do projeto	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Recursos energéticos renováveis e usos.	19
Tabela 02: Calores específicos de alguns materiais.	44
Tabela 03: Legenda das Figuras 37, 38 e 39.	59
Tabela 04: Legenda das Figuras 40, 41 e 42.	61
Tabela 05: Legenda da Figura 43.	62
Tabela 06: Consumo de pontos de utilização de água quente (NBR 15569/2008) ...	72
Tabela 07: Tabela de Consumo / Eficiência Energética de coletores solares.....	82
Tabela 08: Especificação do Reservatório Térmico	86
Tabela 09: Especificação do Coletor Solar	87
Tabela 10: Especificação do Ponto de Tiragem	88
Tabela 11: Especificação do Tê Misturador	89
Tabela 12: Especificação do Registro	89
Tabela 13: Especificação da Tubulação.....	90
Tabela 14: Orçamento do sistema de termoacumulação.	91
Tabela 15: Estimativa do número de banhos anuais no empreendimento.....	92
Tabela 16: Custo anual com chuveiro convencional no empreendimento.	93
Tabela 17: Representação dos valores considerados para obtenção do TIR.	95

LISTA DE SIGLAS

ABIH - Associação Brasileira da Indústria de Hotéis

Abrava - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento

Aneel - Agência Nacional de Energia Elétrica

AQD - Aquecimento de Água Doméstico

CPP - Coletor de Placa Plana

Dasol - Departamento Nacional de Aquecimento Solar

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

MME - Ministério de Minas e Energia

NASA - National Aeronautics and Space Administration (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço)

NBR - Norma Brasileira

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico

PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem

PIB - Produto Interno Bruto

PMCMV - Programa Minha Casa Minha Vida

PPH - Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso

PPR - Polipropileno Copolímero Random tipo 3

SEB - Sistema Elétrico Brasileiro

SIN - Sistema Interligado Nacional

1. INTRODUÇÃO

A geração de energia sempre foi um grande desafio para o ser humano. A busca por métodos eficientes e econômicos é de extrema importância e vem assumindo posição de destaque na sociedade moderna, uma vez que as fontes convencionais vêm se tornando escassas ou obsoletas após avanços tecnológicos e estudos ambientais.

Desse modo a termoacumulação, ou o acúmulo de energia térmica, desponta como uma alternativa eficaz para suprir as necessidades de conforto térmico do homem, permitindo utilizar a matriz de energia convencional em períodos fora de ponta e, além disso, também possibilita o uso de fontes renováveis, como apresenta o seguinte estudo.

O Brasil tem atravessado crises no setor energético devido à má utilização e gestão deficiente de suas matrizes energéticas, por isso, este trabalho visa analisar tecnicamente o sistema de termoacumulação de água quente com matriz solar, uma vez que o aquecimento de água destinada para banho representa grande parcela das contas de luz dos brasileiros.

Inicialmente são analisados os sistemas de energia alternativa, seguidos pelo estudo da matriz energética brasileira e, então, pelas características dos sistemas de termoacumulação. Posto isso, é desenvolvido um projeto de um sistema de termoacumulação de água quente para um empreendimento localizado na cidade de Pinheiral-RJ, região Sul Fluminense. Este estudo abrange o dimensionamento dos componentes do sistema, especificação dos mesmos e orçamento com fornecedores da região.

Ao final, é realizada também uma análise econômica de modo a determinar a viabilidade no que diz respeito ao capital de investimento necessário para um sistema desse porte. Esta análise utiliza conceitos de *payback* e taxa interna de retorno (TIR), baseados no tempo de vida útil dos equipamentos do sistema.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Energia

Energia, oriunda da palavra grega *enérgeia*, que significa “em ação”, é a particularidade que permite a existência de um sistema ou, como a Física declara, realizar trabalho. (TUNDISI, 1991)

Encontra-se em várias formas, como o vento ou água corrente, e acumulada em matéria, como os combustíveis fósseis – carvão, gás natural, petróleo –, que podem ser queimados gerando uma “ação vigorosa”.

A energia é melhor descrita segundo o que pode fazer. Não conseguimos “ve-lâ”, somente seus efeitos; não podemos fazê-la, apenas usá-la; não podendo destruí-la, porém desperdiçá-la (isto é, utilizá-la de forma ineficiente). A energia não possui valor por si mesma, mas sim pelo que realizamos com ela. (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

O seu emprego de variadas formas permite ao homem preparar seu alimento, tornar suas residências mais confortáveis através do aquecimento ou refrigeração, abastecer os sistemas de transporte e movimentar suas indústrias. (TUNDISI, 1991)

Os usos finais da energia são usualmente divididos em quatro setores: residencial (habitações unifamiliares e multifamiliares), comercial (escritórios, lojas, escolas e outros), de transporte e industrial. (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

Desde o princípio da vida em sociedade, o homem busca fontes de energia que sejam capazes de serem geradas continuamente, ou acumuladas para serem consumidas quando necessário. (TUNDISI, 1991)

A energia é um dos constituintes essenciais para a manutenção da sociedade moderna. Ela é indispensável para criação de bens através de recursos naturais e para fornecer benefícios através de muitos serviços básicos. O desenvolvimento econômico, bem como os altos padrões de qualidade de vida são processos complexos que partilham um denominador comum: a confiabilidade de um abastecimento adequado de energia. (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

O uso dos recursos energéticos poupou o homem de muitos trabalhos exaustivos e fez com que os esforços se tornassem mais produtivos. Os seres humanos já dependeram de sua força muscular para produzir a energia necessária

para seus trabalhos. Atualmente, menos de 1% do trabalho realizado nos países industrializados depende dessa força como fonte de energia.

O mundo se tornou muito interdependente, logo o alcance a recursos energéticos adequados e confiáveis é fundamental para o crescimento da economia.

Entender a energia consiste em compreender os recursos energéticos e suas limitações, bem como as consequências ambientais da sua utilização. No decorrer das últimas três décadas, o consumo de energia global quase dobrou.

A demanda mundial de energia triplicou nos últimos 50 anos, e pode ser triplicada novamente nos próximos 30 anos. A maior parte dessa demanda aumentada no passado deu-se nos países industrializados, e cerca 90% dela foi suprida por combustíveis fósseis. Entretanto, nos próximos anos, grande parte da demanda aumentada por energia virá dos países em desenvolvimento, uma vez que buscam alcançar objetivos e metas de crescimento, conforme ilustra a Figura 01.

Projeta-se que o consumo de energia em países industrializados aumentará apenas 1% ao ano nas próximas décadas, enquanto nos países em desenvolvimento esta taxa de crescimento será cerca de 3% ao ano. Se estas projeções se tornarem realidade, por volta de 2025 os países em desenvolvimento estarão consumindo mais energia que os desenvolvidos.

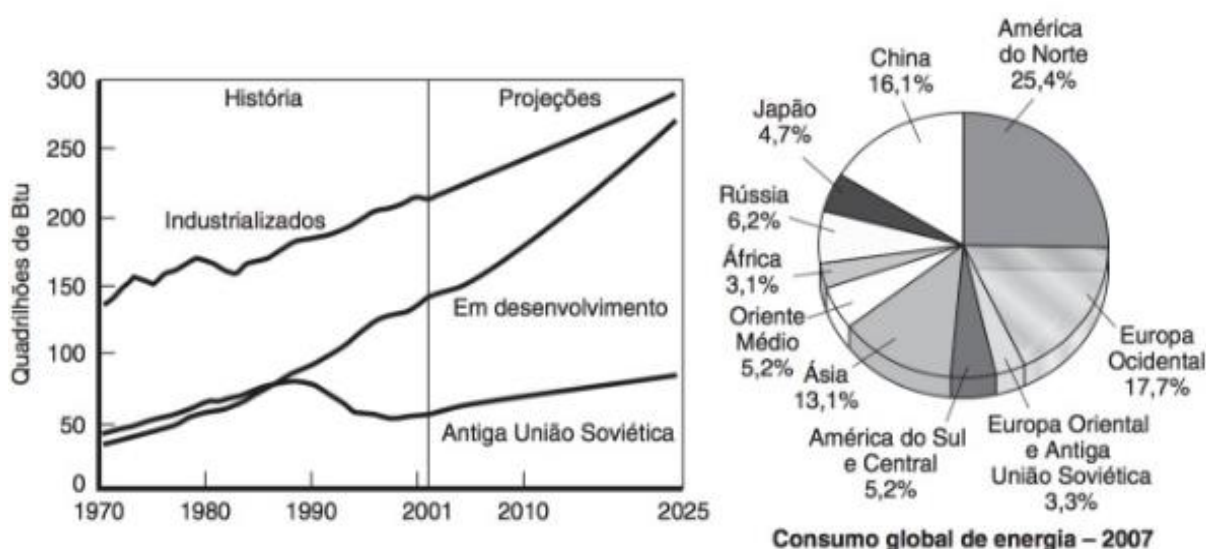


Figura 01: Consumo global de energia, 1970-2025, para países industrializados, em desenvolvimento e antiga União Soviética. Também são mostradas as participações regionais no consumo total final em 2007. (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

Como há necessidade de energia para gerar um determinado produto, pode-se esperar uma relação constante entre o PIB e o consumo de energia. (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

2.2. Energia Elétrica

Tales de Mileto, filósofo grego, descobriu a energia elétrica quando, ao atritar um âmbar com um pedaço de pele de carneiro, percebeu certa alteração. O filósofo notou que lascas de palhas e de madeira foram atraídas pelo âmbar, dando o nome de eletricidade, pois âmbar em grego é *élektron*. Conseqüentemente, no século XVII, se iniciaram os estudos sistemáticos relação à eletrificação por atrito.

A energia elétrica é de extrema importância no mundo atualmente. Ela tem uma posição de destaque, podendo se transformar em outros tipos de energia, como a mecânica e a térmica. (IPED, 2017)

A conversão da energia proveniente das fontes primárias em usos finais ocorre geralmente por meio de um ou mais processos de conversão de energia. A energia elétrica não se constitui como fonte primária, e sim o resultado de um processo de conversão iniciado com fontes de energia químicas, nucleares ou solares. Por exemplo, a energia química contida no óleo combustível é convertida em outras formas (térmica, elétrica e/ ou mecânica) a partir da combustão. A energia térmica liberada ao se queimar óleo combustível em uma caldeira transforma a água em vapor, o qual movimenta uma turbina conectada a um gerador para produzir energia elétrica.

Outro exemplo de transformação de energia acontece em uma célula solar. A luz do Sol que incide sobre uma célula (Figura 02) produz eletricidade, que pode ser empregada para movimentar um motor elétrico. A energia é transformada a partir da fonte primária solar em energia elétrica e posteriormente em energia mecânica. (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

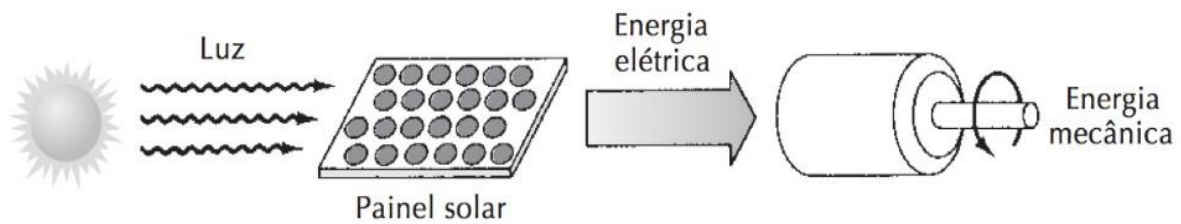


Figura 02: Ilustração das conversões entre diferentes formas de energia. A energia da luz solar é convertida por um painel solar em energia elétrica, que é utilizada para movimentar um motor.(HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

2.3. Sistemas de Energia Alternativa

A energia alternativa é obtida de várias fontes renováveis, possui como principal atributo a redução dos impactos ambientais negativos e o favorecimento da autonomia energética. Tais fontes de energia incluem a energia hidrelétrica, o vento (energia eólica), a biomassa (madeira e derivados), a energia fotovoltaica e a solar para aquecimento, refrigeração e a produção de eletricidade. Apesar de ainda contribuírem discretamente, algumas dessas tecnologias estão ganhando importância. Em todo o mundo, a energia eólica, é a fonte que cresce mais rapidamente.

Atualmente, as fontes renováveis de energia são responsáveis pela produção de aproximadamente 8% da energia global (que sobe para 22% ao incluirmos o uso da biomassa).

Estudos recentes indicam que as fontes renováveis aumentarão sua participação para entre 30% e 40% do total em 2050, pressupondo os esforços globais em políticas públicas voltadas para as questões ambientais, especialmente quando relacionadas com a mudança do clima. Cada uma delas tem muitos usos, como os listados na Tabela 01. (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

Tabela 01: Recursos energéticos renováveis e usos. (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

Recursos energéticos	Aplicação
Radiante (solar)	Aquecimento e refrigeração de ambientes (ativos ou passivos) Aquecimento doméstico de água, piscinas Eletricidade (fotovoltaica) Fornalhas solares, termoeletricidade
Vento (eólica)	Eletricidade (turbinas eólicas) Mecânica (bombeamento de água, moagem)
Hídrica	Eletricidade, mecânica (rodas-d'água)
Biomassa	Calor (combustão direta), eletricidade Combustíveis (gás, líquidos)
Geotérmica	Eletricidade, aquecimento distrital

Considerando esses dados, pode-se perguntar por que as energias renováveis têm sido relativamente subutilizadas. A primeira razão é econômica, especialmente quando o custo da geração de energia renovável é comparado com o dos combustíveis comerciais de baixo preço. Os preços das energias renováveis caíram consideravelmente nas últimas duas ou três décadas, mas há incertezas técnicas e econômicas, documentação inadequada e falta de avaliação dos diversos projetos solares que têm sido desenvolvidos globalmente, falta de estratégias governamentais coerentes e ceticismo puro e simples por parte de muitos tomadores de decisão relacionada com energia, tudo isso como obstáculos para o emprego em larga escala de energias renováveis. Também existem dificuldades com a forma de armazenamento de energia, atenuadas pelo fato desses recursos serem difusos e dependerem do tempo e do clima.

Todavia, as fontes de energia renovável continuarão disponíveis por muito tempo depois de os nossos combustíveis fósseis se esgotarem, e são econômica e politicamente menos arriscadas que muitas formas de suprimento convencionais (especialmente o petróleo), cujos custos são bem menos previsíveis.

Atualmente, os sistemas de geração alternativa de energia são utilizados como fonte auxiliar à matrizes já estabelecidas no âmbito técnico e econômico. (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

2.4. Energia Solar

2.4.1. Definição

Energia solar é a energia emitida pelo Sol que incide sobre a Terra. O Sol localiza-se a $1,50 \times 10^{11}$ m da Terra e possui um diâmetro de $1,39 \times 10^9$ m. (HODGE, 2011)

As radiações vindas do sol representam a principal fonte de energia do planeta. Aproximadamente 99% da energia térmica aproveitada pelos ecossistemas provém deste enorme “gerador”. Se o Sol não existisse, a temperatura na superfície terrestre seria por volta de -200°C . (BRAGA, 2005)

De toda energia solar que atinge a Terra, cerca de 60% é refletida pela atmosfera; 16% é empregada na evaporação contínua da água; 11% é refletida pelo solo, oceanos e vegetação; 9% é retida pelo solo; 3% é consumida na fotossíntese de plantas terrestres; restando 1% para fotossíntese marinha. (TUNDISI, 1991)

2.4.2 Fluxo Solar

A constante solar é definida como o fluxo de energia solar incidente na superfície orientada normal aos raios solares e tem um valor médio de 1.353 W/m^2 . No entanto, esta constante é o fluxo incidente na borda externa da atmosfera. Para as aplicações terrestres, o que importa é o fluxo solar incidente na superfície da Terra, após os raios solares terem passado pela atmosfera.

Conforme o fluxo solar passa pela atmosfera, ele é atenuado pela presença de oxigênio (O_2), ozônio (O_3), vapor d'água (H_2O) e dióxido de carbono (CO_2). Em consequência, o fluxo solar na superfície terrestre é significativamente menor do que o fluxo solar extraterrestre. Na medida em que o fluxo solar atravessa a atmosfera, ambas as distribuições de magnitude e direcional são alteradas. Essas alterações se devem à absorção e à dispersão.

Parte da preocupação com o esgotamento da camada de ozônio é que sem ela muito mais radiação térmica na banda ultravioleta alcançaria a superfície terrestre, com efeitos deletérios de longo prazo. Porém, a energia solar, apesar de sua grande magnitude, chega à Terra de forma muito difusa, requerendo captação

em grandes áreas e dispositivos de concentração para possibilitar sua utilização. (HODGE,2011)

A irregularidade no suprimento desta fonte de energia, proporcionada pelos períodos de escuridão noturno ou mau tempo, torna necessária a utilização de sistemas de transporte e armazenamento adequados. (TUNDISI, 1991)

A quantidade de radiação propiciada pelo Sol que atinge a Terra é chamada de insolação, forma reduzida de radiação solar incidente. (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

A insolação recebida em um dado local da superfície terrestre varia entre 0 e 1.050 W/m^2 ($330 \text{ Btu/pé}^2/\text{h}$), dependendo da latitude, da estação, do horário do dia e do volume de nuvens. Os dois primeiros fatores são resultantes da geometria da órbita da Terra em redor do Sol, que é quase circular, mas o eixo em torno do qual a Terra gira ao redor de si mesma é inclinado $23,5^\circ$ em relação a esse plano de movimento (Figura 03).

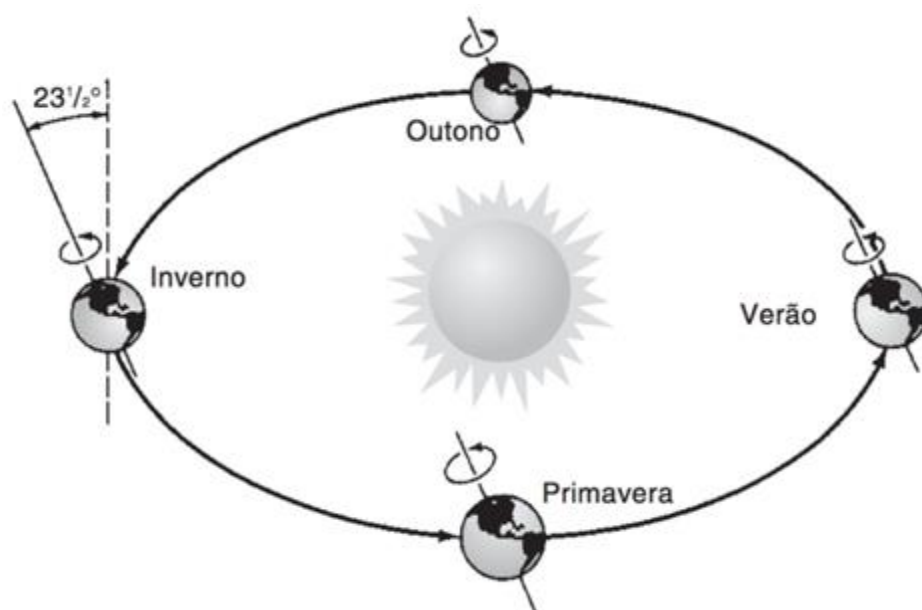


Figura 03: Movimento da Terra ao redor do Sol, mostrando as estações do ano e a inclinação do eixo da Terra (para o hemisfério Norte). (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

2.4.2.1. Radiação Direta e Difusa

A irradiação solar sobre superfície terrestre pode ser empregada a uma vasta gama de processos e aplicações, como a geração de eletricidade e calor. O

uso crescente da irradiação solar com estas finalidades reduz consideravelmente o consumo dos combustíveis fósseis, fazendo com que o potencial aquecimento atmosférico seja mitigado.

A parcela da radiação que transpassa a atmosfera sem ser absorvida ou espalhada é conhecida por radiação direta (Figura 04a). Já a radiação espalhada advém de todas as direções, ainda que nas direções próximas à da radiação direta sua intensidade seja maior. A radiação quando espalhada pode vir a variar em torno de 10% da radiação solar total em dias claros, perto de 100% em dias completamente encobertos. A fração da radiação solar que sofreu espalhamento é frequentemente como sendo independente da direção (Figura 04b), ou difusa. (INCROPERA et al., 2014)

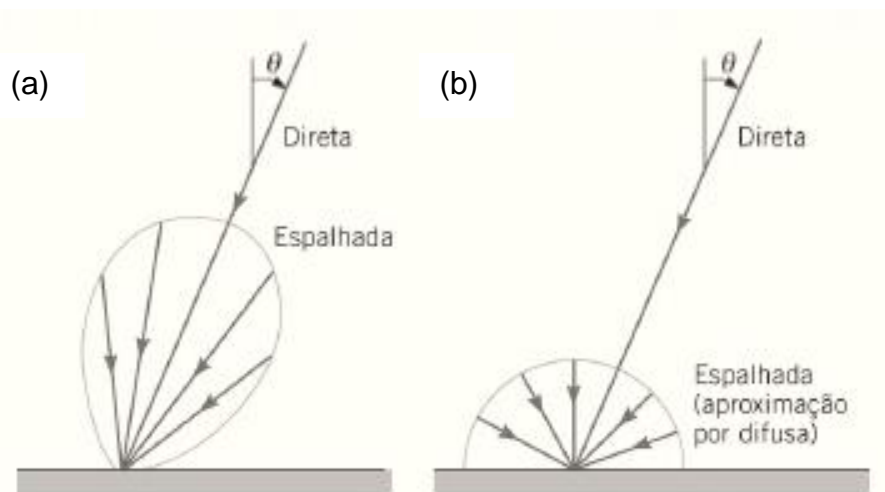


Figura 04: Distribuição direcional da radiação solar incidente na superfície Terrestre. (a) Distribuição real. (b) Aproximação difusa. (INCROPERA et al., 2014)

2.4.3. Tipos de Aproveitamento da Energia Solar

Os sistemas para aproveitamento da radiação solar direta mais conhecidos são: o passivo de captação de energia solar, o de captação de energia por célula solar fotovoltaica, os de geração de energia em satélite, as estações centrais de força e os coletores de alta temperatura. (TUNDISI, 1991)

2.4.3.1. Sistema passivo de captação de energia solar

Os sistemas passivos objetivam potencializar ao máximo a energia disponível, não apenas pela radiação solar, bem como pela energia emitida da Terra, sobretudo o calor absorvido. (TUNDISI, 1991) É definido geralmente pelos sistemas cujo fluxo de energia se dá através de processos naturais, tal como a convecção natural (livre). (HODGE, 2011)

Atualmente, construções arquitetônicas projetadas para esse objetivo têm sido comercializadas (Figura 05). Consistem fundamentalmente em ampliar a absorção de calor e diminuir suas perdas, através do uso de telhados de vidro, de janelas posicionadas de forma adequada e revestidas por folhas de metal preto onduladas (funcionam como coletores de calor), paredes de maior espessura com sistemas de isolamento térmico. (TUNDISI, 1991)

O sistema passivo não faz uso de uma fonte de energia externa, mas permite que o fluido aquecido pelo Sol (normalmente ar) circule por meios naturais. Esse sistema tem importantes vantagens econômicas, especialmente quando utilizado no aquecimento de ambientes. Residências solares passivas construídas nos dias de hoje podem poupar cerca de 50% dos custos de aquecimento com um aumento de apenas 1 a 5% nos custos de construção. Todavia, as características solares passivas têm de ser integradas ao projeto da edificação desde o início. (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

Esse sistema também tem sido utilizado na agricultura, há algum tempo, com a construção de estufas e casas de vegetação que tornam possível o cultivo de algumas plantas fora de sua época de crescimento normal ou em condições climáticas não propícias para o seu desenvolvimento. (TUNDISI, 1991)



Figura 05: Exemplo de construção que utiliza o sistema passivo. (PORTAL ENERGIA, 2017)

2.4.3.2. Sistemas de geração de energia por célula solar fotovoltaica

A radiação solar é diretamente convertida em eletricidade através da ação das células solares fotovoltaicas. A figura 06 representa o funcionamento deste sistema.

Essas estruturas, se tornaram muito populares nos anos 60 devido seu uso como mecanismos geradores de energia para satélites artificiais, dispositivos semicondutores, geralmente de silício, que absorvem fótons, produzindo cargas negativas e positivas. A célula fotovoltaica caracteriza-se por ser uma lâmina de semicondutor com grande superfície, possuindo em seu interior um campo elétrico (regiões contaminadas por fósforo e boro), que viabilizam a separação dos portadores de carga elétrica gerados pela luz). O movimento dos elétrons por meio da barreira de campo elétrico produz uma corrente, gerando eletricidade.

Os sistemas são modulares, por isso a ampliação da potência pode ser feita simplesmente pela adição de módulos. A eletricidade obtida por placas fotovoltaicas tem sido utilizada nas telecomunicações (como repetidoras de microondas), alimentação de cercas elétricas, sistemas de refrigeração, bombeamento de fluidos, entre outros.

O custo da energia de origem solar é entre três e cinco vezes maior que as fornecidas por métodos convencionais, entretanto o desenvolvimento tecnológico

poderá ocasionar uma redução dos custos dos processos de produção. (TUNDISI, 1991)

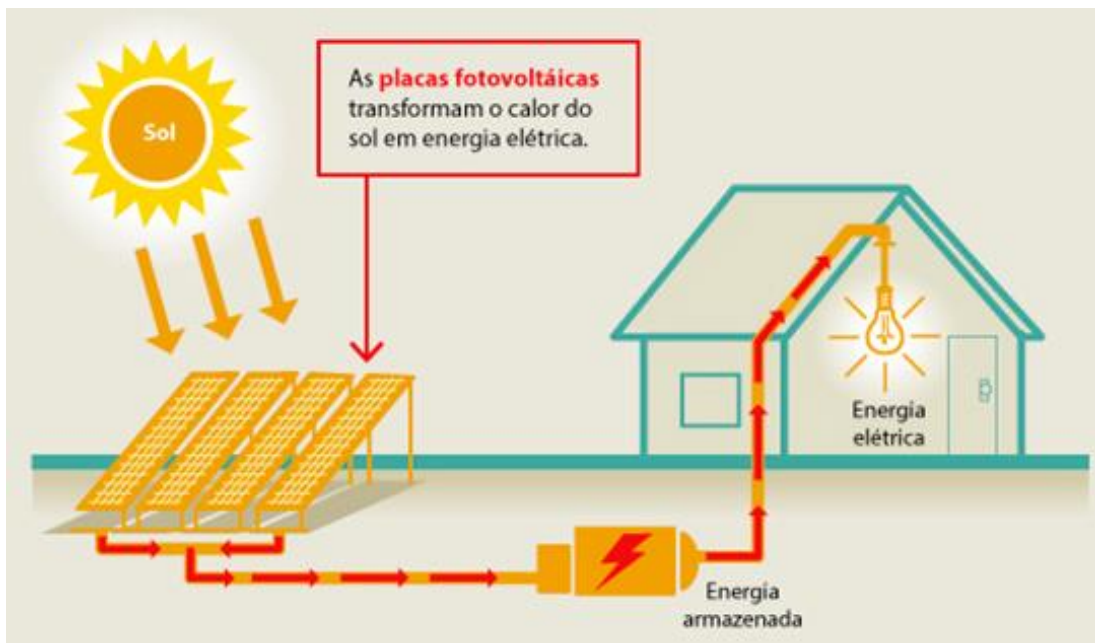


Figura 06: Exemplo esquemático do sistema fotovoltaico. (LUZ SOLARIS, 2017)

2.4.3.3. Sistema de geração de energia em satélites

Esse sistema utiliza células fotovoltaicas em satélites, em órbita terrestre, transformando a energia solar em microondas para serem transmitidas através de grandes antenas instaladas na superfície da Terra.

A principal vantagem desse método de aproveitamento de energia solar reside no fato de as células fotovoltaicas em satélites ficarem quase que continuamente expostas à radiação solar.

Não existe exploração comercial desse sistema, porém o mesmo tem sido conteúdo de estudos aprofundados pela NASA. (TUNDISI, 1991)

2.4.3.4. Centrais térmicas solares

As centrais térmicas solares trabalham de forma similar às centrais térmicas comuns que utilizam gás, petróleo ou energia nuclear. O princípio de operação é

baseado no aquecimento de fluidos que ao ser expandido, transmite energia térmica para uma turbina interligado a um alternador, produzindo eletricidade.

A energia solar é concentrada por meio da utilização de heliostatos ou por superfícies parabólicas espelhadas que encaminham a energia térmica até uma torre central (conhecida como torre de força), onde o fluido é aquecido (Figura 07).

As temperaturas alcançadas por esse sistema variam de 540° a 930°C. Água sob alta pressão, óleos hidrocarbonetos, ou vapor superaquecido podem ser utilizados como fluidos.

Como nos outros casos, apresenta altos investimentos iniciais, um rendimento baixo, e exige um complemento energético. A probabilidade de impacto ambiental negativo é reduzida, resumindo-se basicamente a contaminação ambiental pelo vazamento do fluido usado para a transmissão de calor, ou devido ao seu descarte.

Tais usinas são antiestéticas e requerem grandes áreas. A Figura 08 apresenta de uma central deste tipo. Um exemplo brasileiro desse sistema é o concentrador Péricles, em Recife. (TUNDISI, 1991)



Figura 07: Sistema coletor distribuído, utilizando superfícies parabólicas. (SOLAR ENERGIA, 2015)

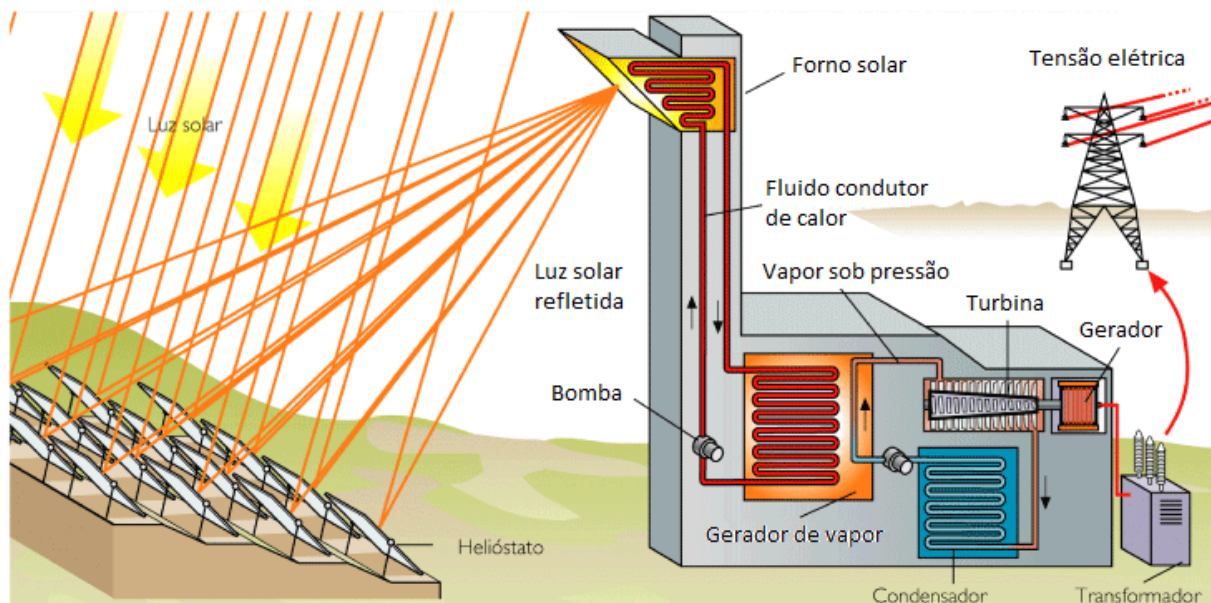


Figura 08: Esquema de uma central térmica solar com a utilização de heliostatos. (SOLAR ENERGIA, 2015)

2.4.3.5. Aquecimento solar

A tecnologia do aquecimento solar baseia-se na captação da radiação, na forma de calor, para aquecer fluidos de uso residencial ou industrial, ou para transformar através das centrais térmicas solares, esse calor em outro tipo de energia.

Esse sistema é baseado no conceito definido pela mecânica quântica referente às características de transmissão de um corpo negro. Tais corpos ideais são os que apresentam maior absorção e o mais alto coeficiente de emissão para quaisquer comprimentos de onda, logo, pintando um objeto exposto ao sol na cor preta, sua temperatura é elevada ainda mais.

Os aquecedores solares de água ou ar que podem atingir temperaturas de até 100°C (denominados de baixa temperatura) empregam fluidos condutores com soluções aquosas e ar.

Em sistemas aonde são necessários trabalhar temperaturas mais elevadas, são utilizados concentradores de luz solar, normalmente os concentradores parabólicos.

Heliostatos, os espelhos planos, foram os primeiros concentradores produzidos e fornecem calor na faixa entre 300 e 500°C. Tais sistemas de alta

temperatura funcionam com água ou vapor sob pressão, ou óleos de elevado peso molecular como fluidos condutores.

O aquecimento solar é de utilização corrente em hotéis, restaurantes, hospitais, mas geralmente exige uma fonte energética adicional elétrica ou outra.(TUNDISI, 1991)

2.4.3.5.1. Aquecimento solar no Brasil

O mercado nacional de aquecimento solar se iniciou na década de 70, seguindo o exemplo de outros países, estimulado pela crise do petróleo. Nesta época, esse impulso foi caracterizado por doses de idealismo de seus empreendedores.

Já a partir da década de 80, embora o segmento tenha apresentado taxas relativamente baixas de crescimento, constatou-se maior aperfeiçoamento do setor com o surgimento de empresas especializadas no aquecimento solar de água. Nos anos posteriores, as taxas de crescimento do mercado ocorreram de maneira mais significativa, acompanhadas de desenvolvimento técnico e comercial, maior profissionalização e da fundação de um departamento próprio, o Departamento Nacional de Aquecimento Solar (Dasol), na Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (Abrava).

A Figura 09 apresenta a evolução do mercado nacional de aquecimento solar no decorrer dos últimos anos, comprovando um crescimento sólido de aproximadamente 20% ao ano. (VASCONCELLOS, LIMBERGER, 2012)

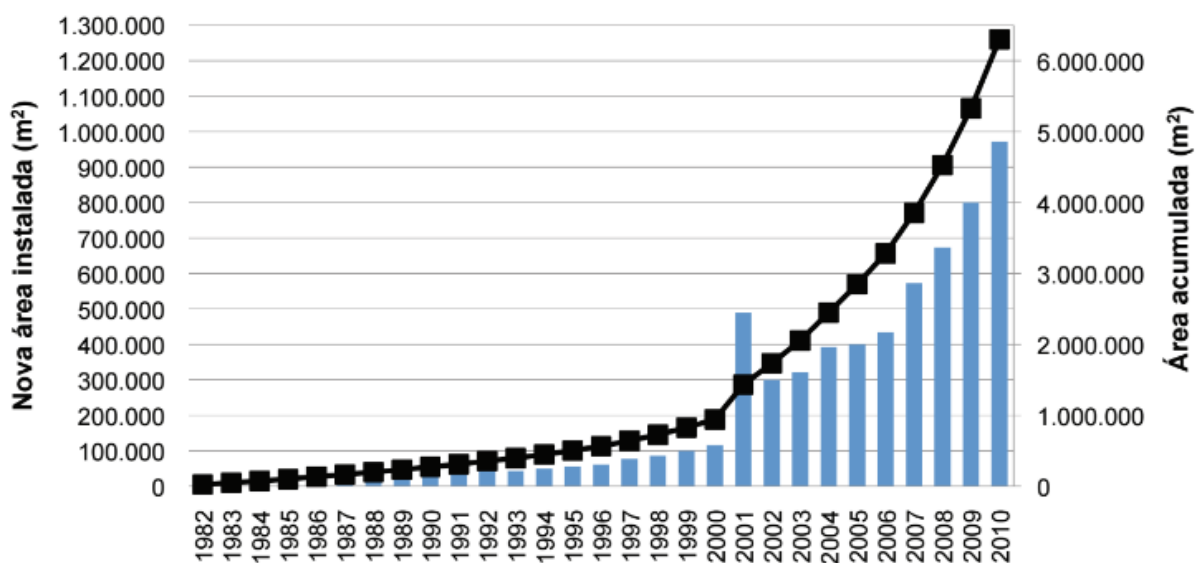


Figura 09: Evolução do mercado nacional de aquecedores solares. (Abrava apud VASCONCELLOS, LIMBERGER, 2012)

O percentual de distribuição da área dos coletores instalados no país e dissociado por setor é representado na Figura 10. (VASCONCELLOS, LIMBERGER, 2012)

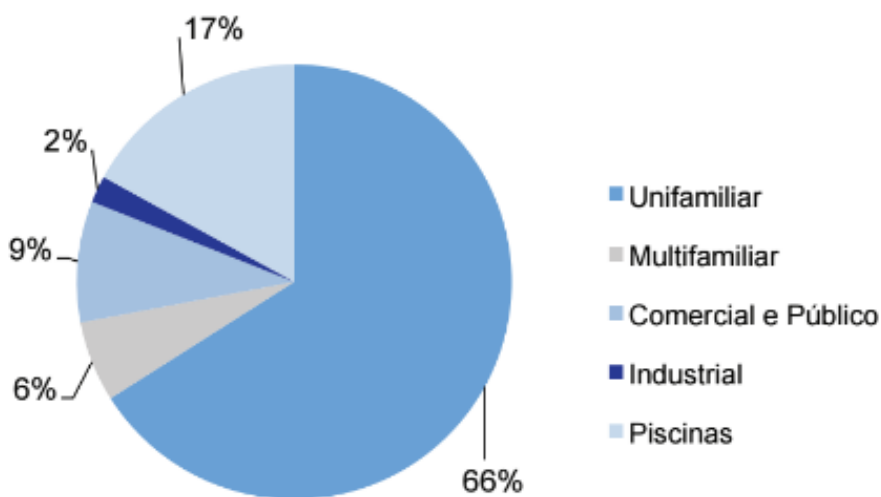


Figura 10: Percentual da utilização do aquecimento solar por setor. (ABRAVA apud VASCONCELLOS, LIMBERGER, 2012)

O setor residencial constitui 72% do total da área de coletores solares instalada no país voltados para banho, sendo 66% aplicados em unidades

unifamiliares e 6%, em edifícios multifamiliares, com sistemas de aquecimento central. Recentemente, o uso desse método de aquecimento em habitações de interesse social foi impelido pelos programas de eficiência energética controlados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), e o avanço do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), do governo federal, que tornou o uso desta tecnologia obrigatório para residências unifamiliares a partir de 2011.

A aplicação do aquecimento solar no setor industrial é modesta no país, representando somente 2% da área total de coletores instalada, sendo que, na maioria das vezes, a água aquecida é utilizada em refeitórios e vestiários, sendo de uso similar ao residencial (ABRAVA apud VASCONCELLOS, LIMBERGER, 2012).

Entretanto, apesar de os dados apresentados serem considerados como indicadores de desenvolvimento do mercado interno de aquecimento solar, a taxa de difusão dessa tecnologia nas habitações brasileiras é praticamente insignificante. Conforme a Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso (Eletrobras Procel, 2007), esta taxa é de apenas 0,4%, como pode ser observado na Figura 11. (VASCONCELLOS, LIMBERGER, 2012)

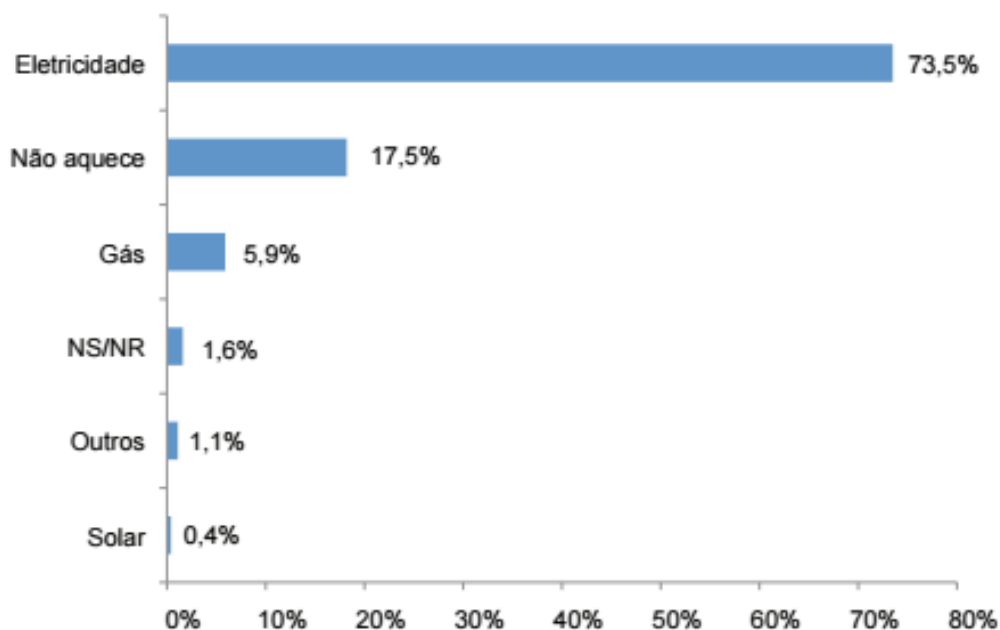


Figura 11: Fontes de energia utilizadas para aquecimento de água destinada para banho. (ELETROBRAS, PROCEL apud VASCONCELLOS, LIMBERGER, 2012)

O aquecimento solar de água proporciona uma economia eficaz de energia para o consumidor, se forem adotadas boas práticas de projeto, de

dimensionamento e instalação, além disso, a ponta de demanda de eletricidade é reduzida.

É importante salientar que ações para desenvolver e melhorar o aproveitamento da energia solar se encontram em concordância com as diretrizes energéticas do Ministério de Minas e Energia (MME) destinadas a ações no ramo de eficiência energética a fim de promover, até 2030, um decréscimo de 10% do consumo energia elétrica final.

Pode-se destacar que, devido à descentralização característica da tecnologia solar térmica, um grande número empregos podem ser criados, especialmente em empresas de micro, pequeno ou médio portes.

Os benefícios provenientes de quaisquer medidas de eficiência energética podem, de certo modo, ser avaliadas sob três óticas: do usuário final, que abaixa o consumo de energia elétrica, diminuindo assim sua despesa; do setor energético, que devido à redução da taxa de crescimento de consumo e demanda, posterga investimentos; e, finalmente, a da sociedade, que é beneficiada com menores tarifas médias e impacto ambiental negativo.

O Brasil é provido de uma razoável rede com fabricantes e fornecedores de equipamentos para aplicações solares. A garantia que os padrões de durabilidade, confiabilidade, e desempenho dos produtos sejam alcançados é dada pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e pelo Selo Procel Eletrobras. (VASCONCELLOS, LIMBERGER, 2012)

2.4.3.5.2. Uso de aquecimento solar para banho

De acordo com os resultados da PPH (Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso), estimou-se que a participação do chuveiro elétrico corresponde a 24% do total de energia elétrica consumida na classe residencial. Isso significa que, aproximadamente um quarto da energia elétrica fornecida para esta classe é consumido no aquecimento de água para banho.

Analisando uma pequena residência com quatro moradores, o consumo de um chuveiro elétrico pode ser responsável por até 45% da energia elétrica nos períodos mais frios e por volta de 30%, nos meses mais quentes do ano, quando a potência elétrica do chuveiro pode ser reduzida. Em casas onde há uma variedade

maior de equipamentos essa participação pode ser menor. Pode ser vista na Figura 12, a participação dos eletrodomésticos mais relevantes no consumo médio residencial no Brasil. (VASCONCELLOS, LIMBERGER, 2012)

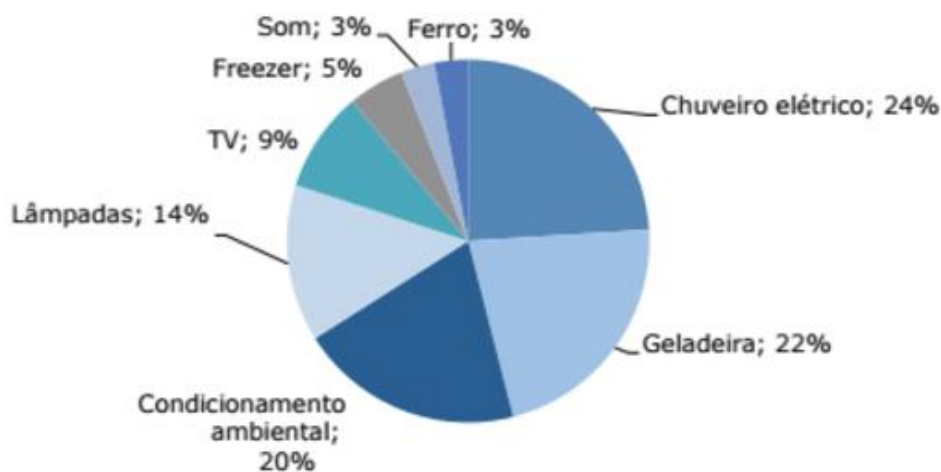


Figura 12: Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial. (SOUZA apud VASCONCELLOS, LIMBERGER, 2012)

Analisando a curva de carga diária média residencial (Figura 13), percebe-se que o chuveiro elétrico é utilizado praticamente em todas as horas do dia.

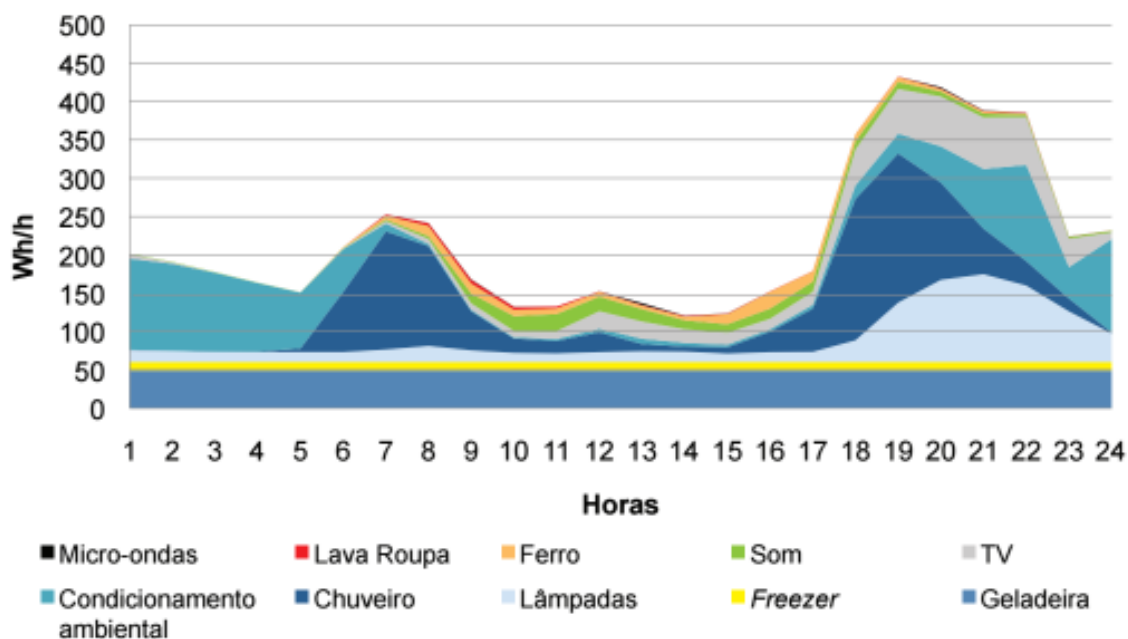


Figura 13: Curva de carga diária média residencial. (VASCONCELLOS, LIMBERGER, 2012)

No entanto, é no período de ponta do sistema, composto por três horas diárias seguidas determinadas pela distribuidora tomando como referência a curva de carga do seu sistema elétrico (Aneel Resolução Normativa no 414/2010), que é observado maior uso do chuveiro. A curva de carga diária do Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) é exibida na Figura 14.

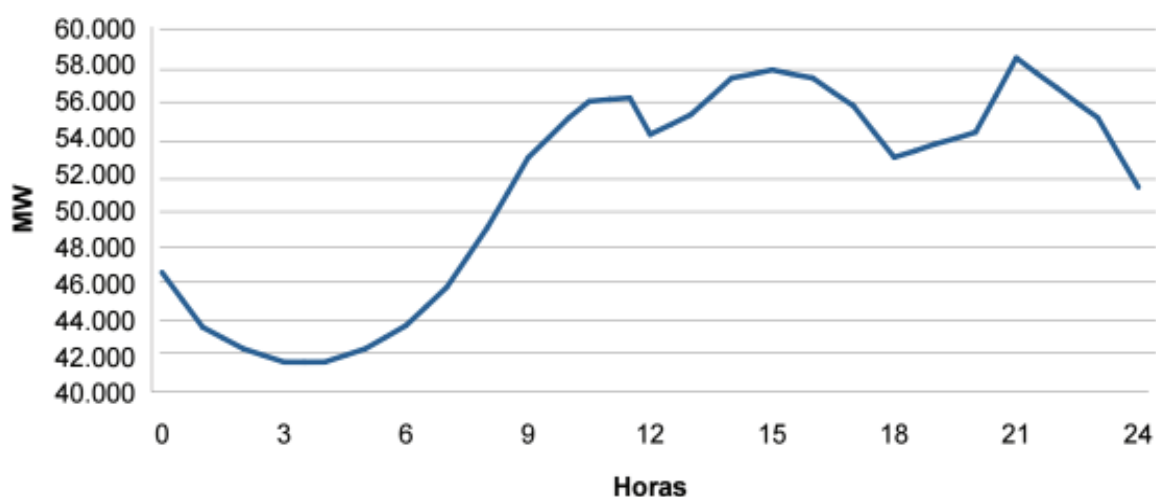


Figura 14: Curva de carga do Sistema Elétrico Brasileiro (SEB). (ONS apud VASCONCELLOS, LIMBERGER, 2012)

O gráfico da Figura 15 reúne as fontes energéticas empregadas para aquecimento de água nas casas brasileiras, segundo a PPH. A pesquisa constatou que 80,9% dos lares brasileiros aqueciam a água para banho de alguma maneira, ao passo que 17,5% não aqueciam e os demais não responderam ao questionamento ou não sabiam. Destaca-se que, dos sistemas que faziam uso da eletricidade como fonte de aquecimento, quase a totalidade, 99,6% correspondeu pelo chuveiro elétrico. (VASCONCELLOS, LIMBERGER, 2012)

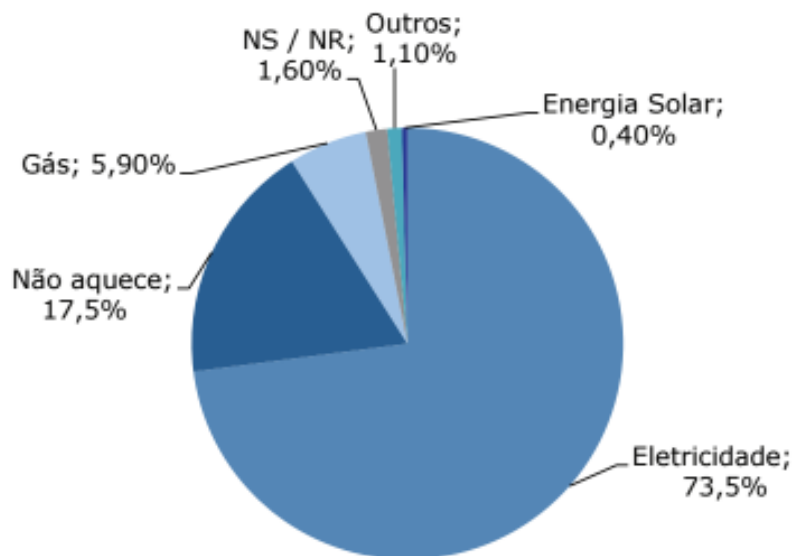


Figura 15: Aquecimento de água nas residências brasileiras. (ELETROBRAS, PROCEL apud VASCONCELLOS, LIMBERGER, 2012)

Em relação ao tempo médio gasto para banho com chuveiros elétricos, a média brasileira é cerca de 10 minutos.

O estudo de 2005 concluiu que um total de 39% dos chuveiros residenciais são utilizados entre 18h e 19h. Nas primeiras horas do dia foi observada uma mudança de hábito no uso do chuveiro elétrico. Conforme a pesquisa feita em 1988, o uso do mesmo entre o horário de 6 e 8h da manhã, alcançou 11%. A pesquisa de 2005 também revelou que em 31% das habitações do país existe pelo menos uma pessoa tomando banho nessa mesma faixa de horário (Figura 16). (VASCONCELLOS, LIMBERGER, 2012)

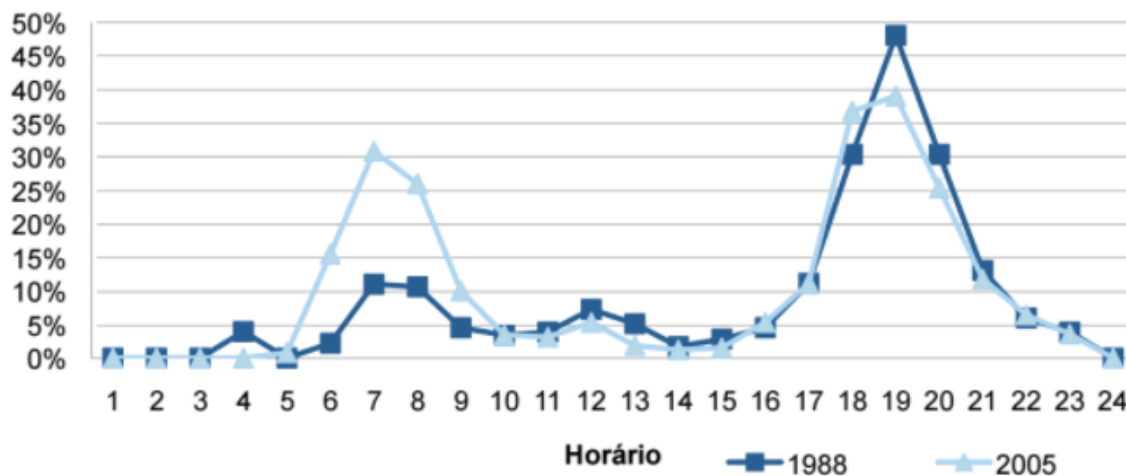


Figura 16: Hábito de uso do chuveiro elétrico, dia típico. (VASCONCELLOS, LIMBERGER, 2012)

Desse modo é possível, afirmar que, nos domicílios brasileiros, a energia elétrica é predominantemente usada para o aquecimento de água, uma vez que o chuveiro elétrico é o dispositivo mais utilizado para esse fim. Posto isso, o consumo de energia elétrica voltado para aquecimento de água em território nacional é relevante, e seu crescimento pode ser comprovado por dados históricos ao longo dos anos.

O aproveitamento da energia solar visando aquecimento de água tem um grande potencial de expansão no Brasil, já que, menos de 1% das residências se beneficia desse tipo de energia. Por isso, além do clima favorável, pode-se concluir que a energia solar se mostra como opção de fonte alternativa no país. (VASCONCELLOS, LIMBERGER, 2012)

2.4.3.5.3. Uso do aquecimento solar em construções multifamiliares.

Conforme a Associação Brasileira da Indústria de Hotéis (ABIH), a escolha pelo uso do aquecimento solar no ramo de hotelaria obteve um crescimento na última década. A Figura 17 apresenta a diversidade energética para aquecimento de água na rede hoteleira brasileira, na qual fatia de 17% é ocupada pela energia solar.

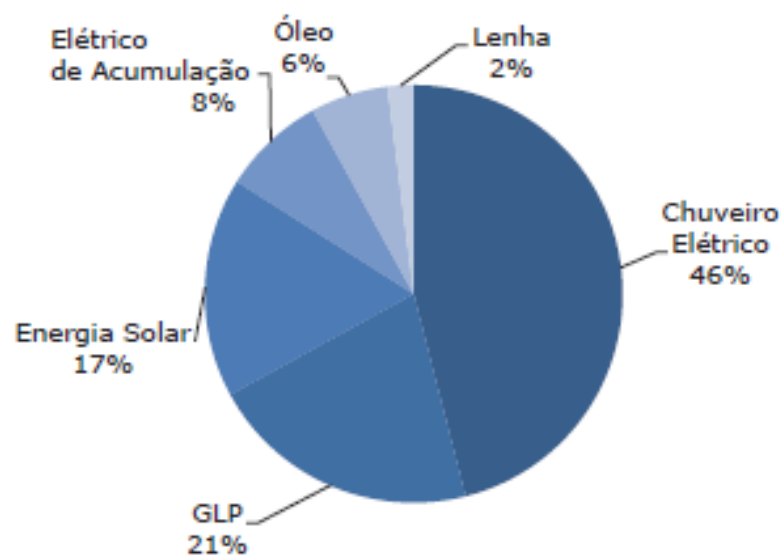


Figura 17: Aquecimento de água da rede hoteleira brasileira. (ABIH apud VASCONCELLOS, LIMBERGER, 2012)

Vale ressaltar que este número tende a crescer mais se for considerado que, tratando-se de um sistema de acumulação, diferentemente do chuveiro elétrico, que consiste em um sistema de aquecimento por passagem, oferece melhor conforto aos hóspedes, apresenta um melhor padrão estético e não está sujeito à ocorrência de falhas no momento do banho, como queima de resistências ou choques elétricos.

Todos estes fatores levam os estabelecimentos a optarem por sistemas de aquecimento de acumulação, nos quais o aquecimento solar apresenta a vantagem do custo inferior quando comparado a sistemas elétricos ou a gás, oferecendo ainda ao estabelecimento a vantagem de fazer uso de uma energia limpa. (VASCONCELLOS, LIMBERGER, 2012)

2.5. Placas coletoras

No caso das Américas do Sul e Central, o Brasil possui papel de destaque, acompanhado pelo México. De acordo com a Abrava, tendo como base o ano de 2009, o Brasil dispunha cerca de 5,2 milhões de m² de placas instaladas, correspondendo a 77,6% do total de coletores da região. A Figura 18 exhibe a participação dos modelos de coletores no mercado internacional.

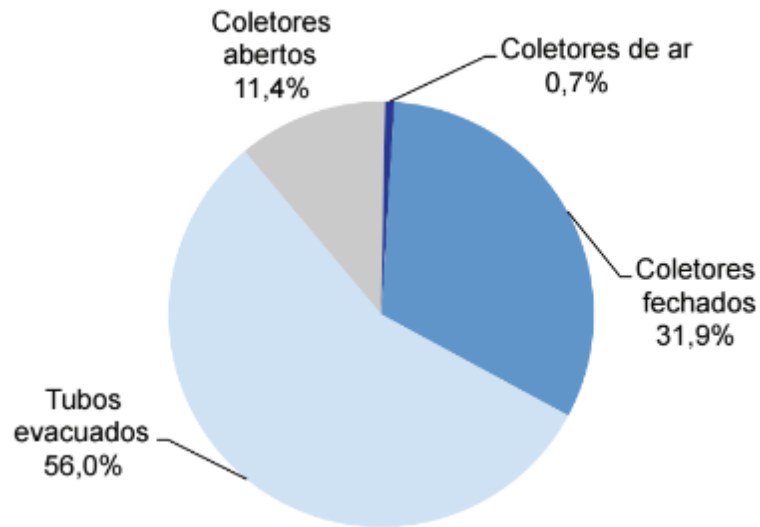


Figura 18: Participação de cada modelo de coletor no mercado internacional. (WEISS, MAUTHNER apud VASCONCELLOS, LIMBERGER, 2012)

Os coletores fechados para banho são assim designados, pois todos os seus elementos, como placa absorvedora e tubos para distribuição de água, são armazenados em uma caixa isolada em sua face posterior e coberta com material transparente, garantindo a incidência dos raios solares e impedindo que a umidade adentre a mesma. Os coletores abertos utilizados para aquecimento de piscinas são usualmente de material polimérico e não dispõem de cobertura transparente e isolamento em sua face posterior. (VASCONCELLOS, LIMBERGER, 2012)

Todos os sistemas solares de aquecimento apresentam algumas características em comum – um aparelho de coleta, uma estrutura para o armazenamento e um sistema de distribuição (Figura 19). (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

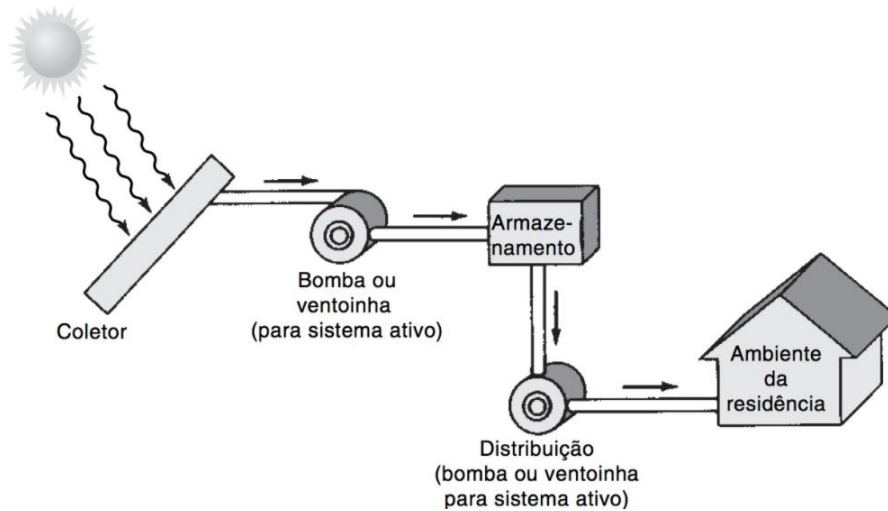


Figura 19: Características gerais de um sistema de aquecimento (ativo ou passivo). (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

Os sistemas mais comuns para AQD ou aquecimento de piscinas usam um “coletor de placa plana” (CPP), conforme a Figura 20 abaixo:



Figura 20: Coletor de placa plana. (HIMIN SOLAR, 2017)

O componente básico desse coletor é uma fina placa de metal e plana que absorve a radiação solar. A água nas tubulações troca energia térmica com a placa absorvedora e é posta em circulação por uma bomba para remover o calor. A placa é pintada na cor preta para ampliar sua capacidade de absorção e geralmente

possui uma cobertura de uma ou duas placas de plástico ou vidro transparentes.

Tratando-se do aquecimento de piscinas, geralmente a placa absorvedora não é coberta, já que temperaturas mais baixas da água são aceitáveis.

O aquecimento da água em um coletor coberto com vidro é semelhante ao que ocorre em uma estufa agrícola ou em um automóvel estacionado com as janelas fechadas. Ainda que seja um dia frio de inverno, no momento que o sol esta brilhando, um carro pode ter sua temperatura interior elevada a níveis desconfortáveis. Nestes coletores, o vidro tem dois objetivos: exercer a função de um escudo de radiação que retém o calor irradiado da placa absorvedora e como um tampão que diminui as perdas de calor por convecção. O vidro é opaco para a radiação de comprimento de onda longa emitida pela placa aquecida, porém pode transmitir 90% da radiação incidente.

O isolamento térmico dos lados e atrás da placa absorvedora faz com que as perdas por condução sejam menores. Um corte lateral, mostrado na Figura 21, apresenta os componentes de um coletor de placa plana convencional, demonstrando as perdas de calor. Temperaturas da água de 71 °C a 82 °C podem ser atingidas, apesar de os coletores serem usualmente operados em temperaturas inferiores, nas quais são mais eficientes. (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

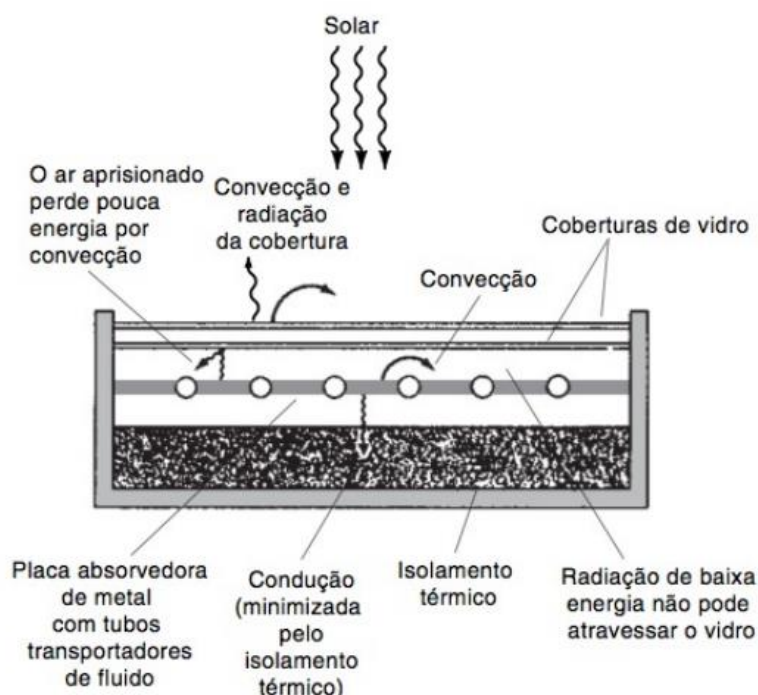


Figura 21: Corte lateral de um coletor de placa plana (CPP). (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

Existem muitos desenhos de placa absorvedora, alguns mostrados na Figura 22. Os tubos que transportam a água são soldados dentro dessa placa ou “ensanduichados” entre duas placas de metal. É extremamente importante que os tubos condutores de água façam um bom contato térmico com a placa absorvedora. Uma união fraca entre tubos e placa pode ser cem vezes menos eficiente que boas conexões soldadas.

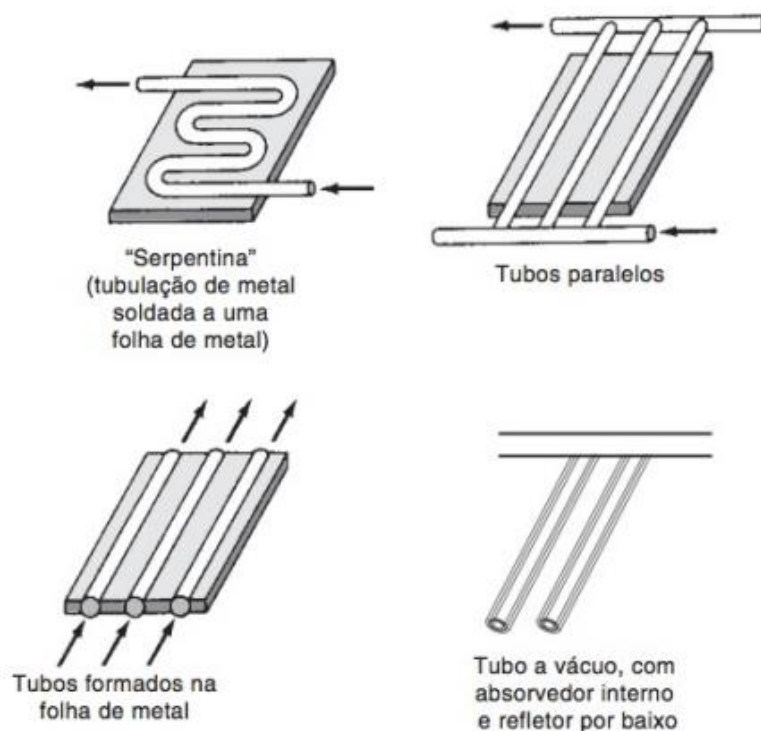


Figura 22: Placas absorvedoras de coletor solar. (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

Outro tipo de placa absorvedora utiliza uma manta preta sintética emborrachada que consiste em tubos e rebarbas muito próximos, formando uma rede ou malha (*webbing*). Esse tipo é usado basicamente para aquecimento de piscinas, a baixas temperaturas.

Um tipo de coletor popular é o tubo a vácuo. Um projeto usa um tubo cilíndrico preto de vidro (em forma de “U”) inserido dentro de outro tubo de vidro, com vácuo entre os dois para evitar perdas de calor por condução ou convecção. Água ou outro fluido corre no interior desse tubo em “U”, dentro do maior tubo de vidro; transferindo calor à água que flui na parte superior do coletor, onde pode estar um trocador de calor. Um determinado número desses tubos é conectado em

paralelo. Muitas vezes, há um refletor parabólico atrás deles. Altas temperaturas podem ser alcançadas com esses tubos a vácuo, mesmo a baixas temperaturas. Eles são eficientes, porém mais caros que os CPP. (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

O coletor solar deve ser instalado voltado para o norte (hemisfério Sul); seu ângulo de inclinação vai depender da utilização que se pretende dar a ele. A insolação máxima sobre o coletor ocorrerá quando o mesmo estiver perpendicular aos raios solares. Para demandas domésticas de água quente, é importante que haja insolação durante todo o ano. Sendo assim, a inclinação horizontal ótima do coletor deve possuir um ângulo próximo ao da latitude do local. (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

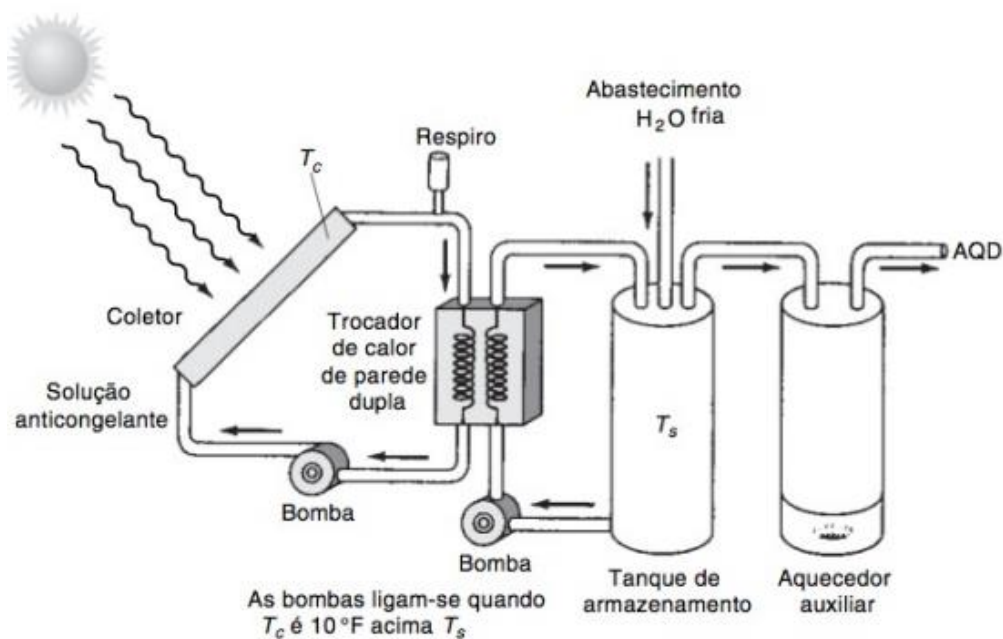


Figura 23: Sistema solar de água quente residencial com trocador de calor. (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

A Figura 23 é um esquema de um sistema solar de AQD que poderia ser utilizado na maioria dos países onde a temperatura média anual é predominantemente baixa. O CPP é montado no telhado, e os outros componentes são mantidos dentro da residência. O uso de anticongelante e de um trocador de calor fornecem proteção contra o congelamento. O sistema utiliza um tanque reserva a fim de aquecer a água (com gás natural ou eletricidade) até a temperatura

pretendida, quando o sistema solar não for capaz de atender a demanda de água quente. A área do CPP depende da insolação e das demandas por água quente. Aquecedores por lote ou batelada, ou *bread-box*, são sistemas baratos e populares que pré-aquecem água fazendo uso da radiação solar, e têm sido utilizados por mais de cem anos.

O projeto é simples: um tanque preto, no interior de uma caixa termicamente isolada sob uma cobertura de vidro, retém a energia solar para que a água residencial seja aquecida. A água fria fornecida pelo sistema municipal de abastecimento reabastece o tanque à medida que uma torneira de água quente é aberta. O conteúdo do tanque preto geralmente flui para um aquecedor convencional que, se necessário, pode ser mais aquecido. A Figura 24 mostra o sistema de dois tanques capaz de suprir as necessidades de uma família de quatro pessoas. Durante a noite, coberturas termicamente isoladas são posicionadas sobre o vidro.

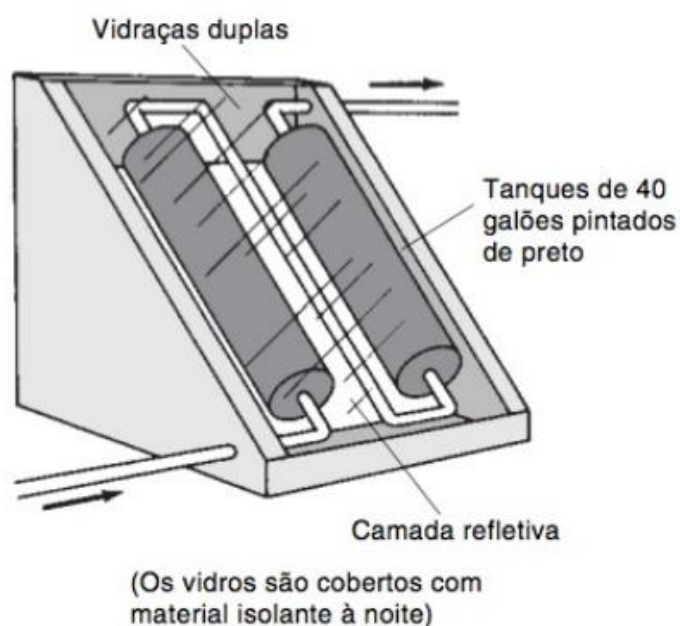


Figura 24: Aquecedor de água por lote ou batelada (*bread-box*) para obtenção de água quente residencial. (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

Além desse tipo de aquecedor, existe outro, que usa uma abordagem baseada em um termossifão, através do qual a água flui, por circulação natural, do coletor para o tanque. Nesse método, o tanque de armazenamento é localizado acima do coletor. A água aquecida no coletor tem menor densidade que a água fria

que entra no sistema, portanto, ela vai subir para o tanque (Figura 25). Com o Sol a pino, a temperatura da água pode aumentar de 5 °C em apenas uma passagem pelo coletor. (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

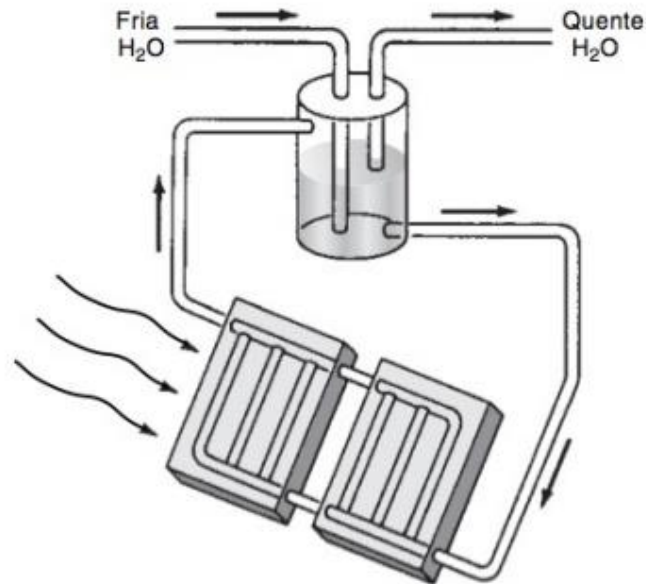


Figura 25: Sistema de aquecimento residencial de água por termossifonamento. O tanque deve estar acima dos coletores. (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

2.5.1. Armazenamento de energia térmica

É muito importante que os sistemas de aquecimento baseados em energia solar sejam capazes de armazenar energia para ser utilizada durante o período noturno e dias nublados. Uma das dificuldades inerentes da energia renovável é o armazenamento. O calor específico da substância é um importante critério na seleção do meio de armazenamento. Materiais distintos absorvem quantidades diferentes de calor quando sujeitos ao mesmo aumento de temperatura. A relação entre a mudança de temperatura ΔT e a quantidade de calor adicionada (ou subtraída) Q é dada por:

$$Q = m \times c \times \Delta T \quad (1)$$

Onde c é o calor específico e m a massa da substância. A Tabela 02 lista o calor específico (por libra e por pé³) de alguns materiais diferentes. (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

Tabela 02: Calores específicos de alguns materiais. (HINRICHS, KLEINBACH, REIS, 2014)

Material	Calor Específico	Densidade		Capacidade de Calor	
	(Btu/lb ^o F)	(lb/pé ³)	(kg/m ³)	(Btu/pé ^{-o} F)	(kJ/m ³ - ^o C)
Água	1,00	62	1.000	62	4.186
Ferro	0,12	490	7.860	59	3.521
Cobre	0,09	555	8.920	50	3.420
Alumínio	0,22	170	2.700	37	2.430
Concreto	0,23	140	2.250	32	2.160
Pedra	0,21	170	2.700	36	2.270
Madeira (pinho)	0,67	27	435	18	1.220
Areia	0,19	95	1.530	18	1.540
Ar	0,24	0,075	1,29	0,02	1,3

2.6. Energia Elétrica no Brasil

Conforme TOMALSQUIM (2003), as decisões do planejamento e da operação do Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) são norteadas por algumas características singulares. Pode-se destacar:

- Dimensões continentais;
- Predomínio de geração hidrelétrica com grande parcela de usinas com flexibilização de produção;
- Diversidade das bacias hidrográficas proporcionando uma complementaridade entre as regiões;
- Total interligação entre as regiões através de um extenso sistema composto por longas linhas de transmissão;
- Atuação de diversos agentes com usinas em um mesmo rio, tal como a operação de linhas de transmissão.

- Tempo de construção e maturação das grandes obras de produção e transmissão da energia.

2.6.1. Sistemas e Geração

Considerando somente os empreendimentos de produção do SIN, contabilizando a energia de Itaipu vendida pelo Paraguai, a capacidade instalada do sistema gerador Brasileiro era de 133 GW. Na Figura 26 abaixo é apresentada a distribuição da capacidade instalada por cada tipo de fonte, mostrando que as fontes renováveis têm grande participação, principalmente da fonte hidráulica. Embora a contribuição das hidrelétricas com capacidade instalada seja de aproximadamente 60%, o emprego desta fonte na geração de energia é superior a 80% em média, podendo variar em função da disponibilidade hídrica ano a ano. (TOLMASQUIM, 2003)

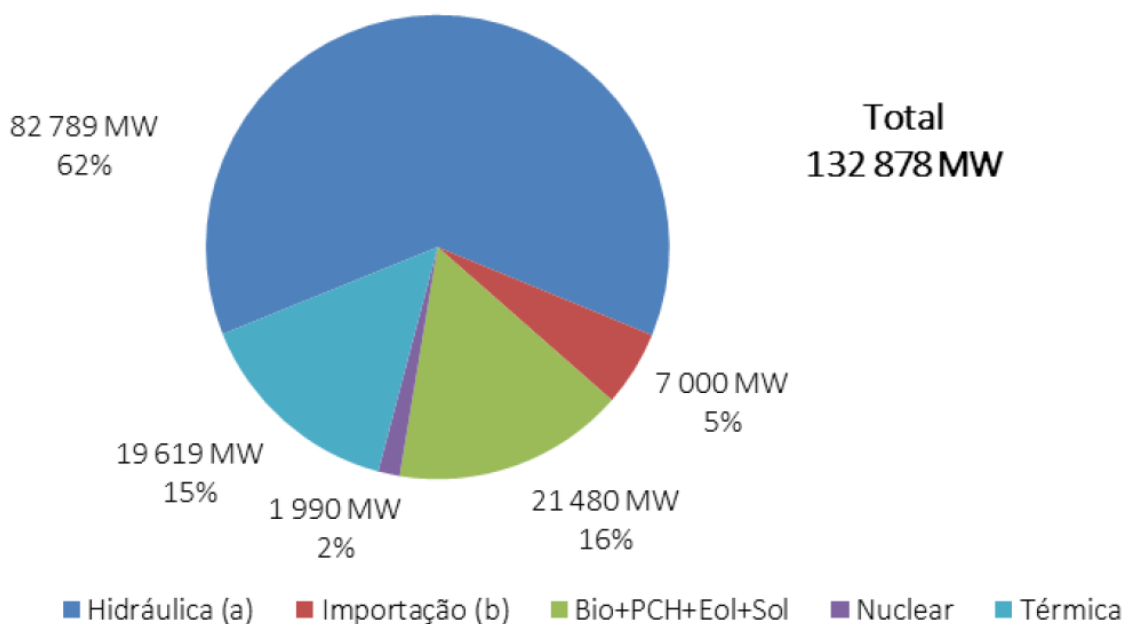


Figura 26: Distribuição de geração das fontes energéticas no Brasil. (TOLMASQUIM, 2003)

O sistema de geração e transmissão de eletricidade do Brasil pode ser considerado único em âmbito mundial, devido as suas características e tamanho. O sistema hidrotérmico é de grande porte, com predominância de usinas hidrelétricas, sendo uma parcela com reservatórios de regularização com múltiplos proprietários.

Sob o ponto de vista da operação energética, podemos considerar certas características da oferta hidrelétrica do Brasil que determinam os modelos e metodologias empregados para dar auxílio à tomada de decisões (TOLMASQUIM, 2003):

- A volatilidade interanual: Os rios no Brasil apresentam variações entre os anos, onde há uma grande dispersão em relação à vazão média anual. Pode ocorrer, por exemplo, uma sucessão de anos com altas vazões e outra de baixas vazões.
- A sazonalidade intra anual: Somada à natural variabilidade anual, há também uma grande variação intra anual, caracterizando-a por uma marcante diferença entre o período úmido e seco.
- A complementaridade e diversidade regional: No Brasil, as bacias hidrográficas estão situadas em regiões com aspectos físicos e climáticos bem distintos, levando a comportamentos hidrológicos bem diferentes, muitas vezes complementares. Ao mesmo tempo, por exemplo, em que rios da região Nordeste e Sudeste do país podem estar passando por severa escassez hídrica, os rios da região Sul podem estar com vazões bem acima da média anual.

2.6.2. Desafios futuros da operação do Sistema Interligado Nacional

Para atender a demanda de crescimento, de forma econômica, segura e seguindo a legislação ambiental, o Brasil dispõe de grande potencial energético, destacando-se as fontes renováveis (potencial eólico, solar, hidráulico e de biomassa).

As figuras 27 e 28 a seguir detalham, respectivamente, a contribuição das diversas fontes na ampliação da capacidade de geração esperada para os anos entre 2015 e 2024 e a composição prevista de fontes geradoras instaladas para o ano de 2024.

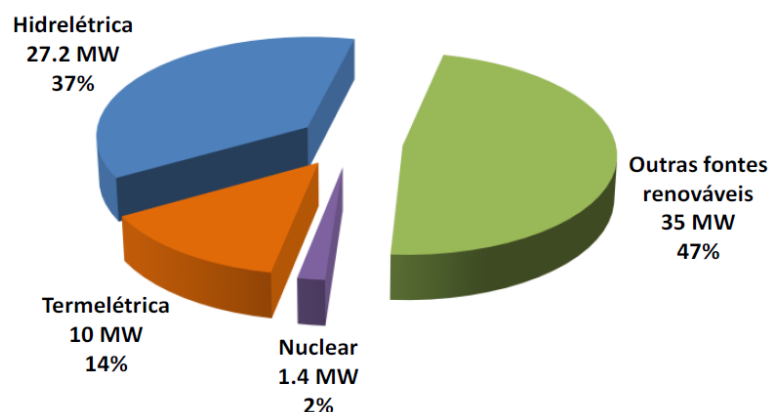


Figura 27: Contribuição das fontes na capacidade instalada 2015 à 2024 (TOLMASQUIM, 2003)

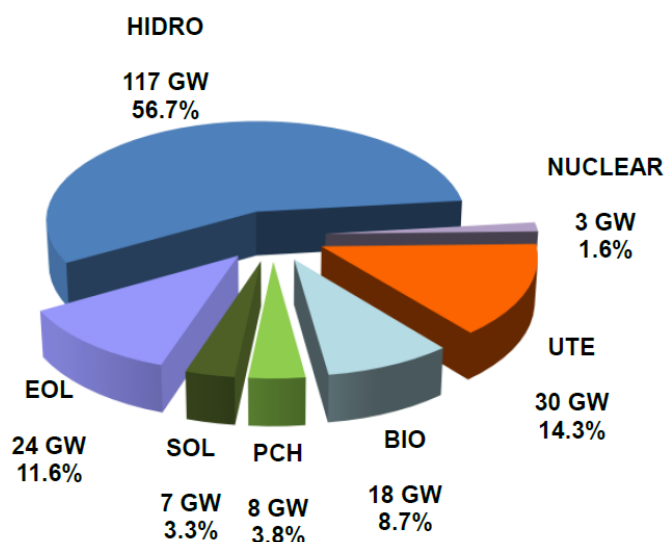


Figura 28: Contribuição de fontes geradoras na capacidade instalada em dezembro de 2024 (TOLMASQUIM, 2003)

2.6.3. Atendimento da demanda horária

A grande participação de fontes inconstantes na matriz energética brasileira traz consigo o questionamento de como assegurar o atendimento da demanda em qualquer hora do dia. Ao passo que as fontes não controláveis começam a responder por parcela considerável da carga, os períodos em que as usinas de geração controlável serão mais requeridas podem deixar de ocorrer nos instantes de pico de demanda. (TOLMASQUIM, 2003)

A mudança de perfil operativo exige uma mudança de planejamento. Com essa nova exigência, a garantia de suprimento à demanda máxima não é mais suficiente para atender à demanda nas demais horas do dia. Além do mais, a grande variação na produção de fontes intermitentes, que poderá acontecer em poucas horas ou mesmo minutos, irá exigir da matriz uma maior participação das fontes controláveis com flexibilidade operativa, a fim de “acompanhar” a curva resultante da carga horária líquida do sistema (é a curva de carga total reduzida da expectativa de geração horária vinda das usinas não controláveis). Tais fontes flexíveis, por outro lado, apresentam tendência a maiores custos operativos, requerendo do planejamento, adequada definição do montante necessário para não onerar demasiadamente o sistema.

As principais variáveis de operação que impactam na disponibilidade hidráulica são a vazão turbinada e o nível de armazenamento. A vazão turbinada é função da disponibilidade hídrica em um determinado momento. O volume total represado, que depende da política operativa estabelecida, define por quanto tempo a potência máxima poderá ser mantida. O nível de água armazenada define a altura de queda da Usina Hidrelétrica, que sendo menor que a altura de referência leva a uma perda de potência, processo conhecido como deplecionamento.

O nível armazenado dos reservatórios será influenciado pela geração média oriunda das fontes não controláveis. A curva de carga horária líquida será responsável pelo período de produção máxima das fontes de energia controláveis, onde a curva será modificada devido à geração instantânea das fontes intermitentes.

O período de geração máxima das fontes de energia controláveis será decorrente da curva de carga horária líquida, que foi modificada pela geração instantânea das fontes intermitentes. (TOLMASQUIM, 2003)

2.6.4. Considerações gerais sobre o Sistema Elétrico Brasileiro

O Sistema Elétrico Brasileiro é caracterizado por uma complexidade natural que exige investimentos constantes em ferramentas computacionais e metodologias que ajudam nas decisões de operação energética a serem tomadas.

Atualmente, o ONS já encontra desafios ligados aos conflitos pela utilização da água, principalmente em casos de escassez do recurso hídrico, similar a que o

Brasil se deparou no período de 2013-2015; e bem como desafios diversos relacionados à manutenção da confiabilidade de tal sistema frente à baixa produção hidrelétrica associada, sendo necessário o uso dos combustíveis fósseis das usinas termelétricas para satisfazer a carga. Esta operação é questionada muitas vezes por ser muito cara, mas é o recurso disponível para assegurar o fornecimento de energia garantindo a manutenção do sistema.

Adicionalmente, como já mencionado nos obstáculos da operação energética futura, existe um grande incentivo para que o planejamento comece a enfrentar a problemática da operação futura do SIN, diante à forte integração de fontes não controláveis, essencialmente as eólicas e fotovoltaicas, para atendimento energético e funcionamento seguro da rede elétrica. (TOLMASQUIM, 2003)

2.7. Termoacumulação

Segundo MATOS (2010), a termoacumulação sempre esteve associada ao perfil de usuário que utiliza cargas térmicas de curta duração e elevada intensidade, assim como longo tempo de ociosidade dos equipamentos.

Este perfil de usuário só veio a mudar a partir dos anos 70, quando o custo dos insumos indispensáveis para geração de energia elétrica se tornaram relevantes e os recursos financeiros para ampliação da capacidade de produção de energia se tornaram escassos.

Nesta conjuntura, as companhias geradoras e distribuidoras de energia alteraram consideravelmente sua estrutura de preços, aumentando não somente o custo do consumo (kW.h) como também o custo da demanda de energia elétrica (kW). Este modelo de custo da eletricidade, que onera consideravelmente o consumidor que apresenta um perfil de carga com picos acentuados de demanda, trouxe a necessidade de desenvolver técnicas para aplainar a curva de carga, atenuando assim a incidência de cargas de curta duração e elevadas.

Tendo em vista que a maior parte das cargas elétricas instaladas nos modernos edifícios está diretamente vinculada a aplicações não transferíveis no tempo (iluminação, elevadores, etc.), e o fato das formas de acumulação de energia elétrica ainda apresentarem custo elevado, foi nos sistemas de tratamento ambiental e de condicionamento de ar que a tecnologia atual conseguiu encontrar a solução para uso imediato no controle das altas demandas elétricas. Os sistemas de

termoacumulação (para aquecer ou resfriar) possuem como finalidade básica, o deslocamento no tempo de cargas que são indesejáveis em certos momentos, e que podem ser manipuladas com relativa simplicidade e conveniência nos períodos de ociosidade do sistema elétrico.

O entendimento de que tais sistemas acumuladores não são componentes básicos de economia de energia, mas sim mecanismos de gerenciamento energético é vital, porque alguns destes sistemas poderão em certos casos, gastar um pouco mais de eletricidade do que sistemas convencionais, tendo nesta circunstância sua justificativa de uso baseada na redução de demandas e transferência de cargas durante o dia. (MATOS, 2010)

2.7.1. Termoacumulação de água fria

São relativamente antigas a utilização e o conhecimento de sistemas de termoacumulação que fazem uso de água gelada. Desde a década de 30 as instalações de termoacumulação de frio eram utilizadas em instalações com elevadas cargas térmicas e de curta duração no campo de condicionamento de ar, entretanto sua importância e ampla utilização, só começaram a acontecer com o aumento do custo da energia elétrica e da necessidade de sua racionalização.

As configurações mais comuns de termoacumulação a frio efetuam armazenamento térmico através de reservatórios de água gelada, gelo e ainda outras substâncias que são capazes de mudar de fase, denominadas sais eutéticos. Essas formas distinguem-se pela parcela de energia acumulada por unidade de volume e também pelas temperaturas na qual armazenam a energia, mantendo o objetivo de realocar o tempo de cargas elétricas, as quais são indesejáveis em determinados momentos. (MATOS, 2010)

Dessa maneira, a termoacumulação de água gelada consegue associar elementos tão interessantes que ao mesmo tempo podem conseguir:

- transferir cargas e reduzir a demanda;
- baixar o consumo de energia elétrica;
- reduzir as despesas iniciais da obra.

Os locais de utilização mais comuns desses sistemas e onde sua visualização é fácil, são: shopping centers, edifícios de escritórios, supermercados, escolas, hospitais, instituições religiosas, áreas públicas de hotéis (sala de convenções, restaurante), laboratórios, museus, teatros, bibliotecas, lojas de departamentos, e na indústria o exemplo mais comum é a área dos laticínios. (MATOS, 2010)

2.7.2.Termoacumulação de água quente

Em alguns casos, como em pequenos hotéis, colégios, ginásios, residências multifamiliares, surge a necessidade de abastecer diferentes pontos de tiragem simultâneos. O que implica a necessidade de um aparelho de grande capacidade, fácil utilização e instalação.

O termoacumulador para aquecimento de água quente é um sistema que dispõe de um tanque próprio para armazenagem. A capacidade dos reservatórios geralmente varia entre 10 e 300 litros para habitações unifamiliares. Os reservatórios são revestidos por uma camada isolante, que possui a função de evitar a perda de calor para o ambiente. (DANI, 2008)

Contém duas aberturas, uma conduta entrada de água fria, e outra de saída de água quente, onde é instalado o conjunto de segurança que tem como finalidade liberar a pressão interna excedente.

Dentro do reservatório existe um termostato e uma resistência. O termostato controla o acionamento da resistência, segundo a temperatura desejada. É essencial que o termostato esteja regulado para uma temperatura de aproximadamente 60°C. Uma temperatura inferior a 55°C, ajuda na proliferação de bactérias. Em contrapartida, se a temperatura estiver muito alta, a corrosão, os depósitos de calcário, o risco de queimaduras e as perdas de calor aumentam. (DANI, 2017)

A termoacumulação é uma opção econômica, se for utilizada juntamente com a tarifa branca. Fazendo uso de um programador de tomada, a ativação do sistema auxiliar (resistência) poderá ser controlada, sendo acionada nos períodos em que a tarifa é menor. (MATOS, 2010)

Para que o funcionamento seja correto e seguro, estes equipamentos necessitam de manutenção anual ou conforme indicação do fabricante. Manutenções deficientes ou reduzidas podem afetar a vida útil dos equipamentos.

2.7.2.1. Características de funcionamento dos termoacumuladores elétricos

O termoacumulador elétrico pode ser posicionado no piso (grandes capacidades), no piso sobre um tripé, fixado em paredes, de maneira vertical ou horizontal ou segundo a marca e capacidade. A Figura 29 apresenta os componentes de um termoacumulador elétrico. (DANI, 2017)

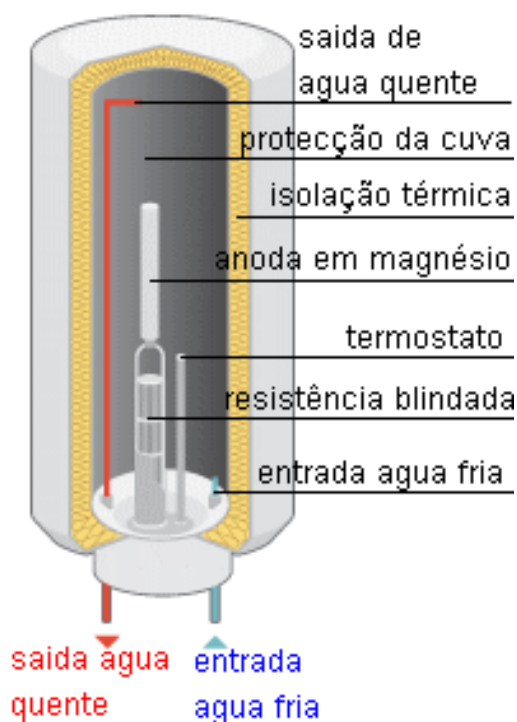


Figura 29: Representação dos elementos de um termoacumulador elétrico. (DANI, 2008)

A resistência é o elemento que produz o calor, esquenta a água. Se ela for do tipo blindada estará posicionada submersa na água e tem a problemática de aquecer muito mais do que as demais resistências. Pode atingir 150°C e a esta temperatura estará sujeita a cristalização do calcário composto na água, o que reduz consideravelmente a potência da resistência.

As resistências saltite não ficam dentro da água, este tipo de resistência são

maiores que as resistências blindadas, conferindo uma temperatura de serviço inferior à 100°C. Com esta temperatura de serviço mais baixa não ocorre cristalização do calcário.

O ânodo em magnésio é utilizado para proteção da cuba contra a corrosão pela ação dos ataques calcários. Ele se consome devidamente com o tempo, fazendo-se necessária a troca a cada dois ou três anos, juntamente com a limpeza da cuba. São mais utilizados em locais onde a água que chega ao tanque não recebe tratamento prévio.

Os ânodos em titânio quase não se consomem, como consequência a manutenção dos termoacumuladores é mais espaçada do que os aparelhos que utilizam ânodo de magnésio.

O material do reservatório ou cuba deve ser o mais resistente possível à corrosão. Normalmente, os modelos que possuem cuba de cobre apresentam maior resistência em relação aos de cubas em ferro e aço, estes devem conter um sistema de prevenção à corrosão, composto em geral por um ânodo de magnésio.

Para que a água seja mantida quente o maior tempo possível a cuba dos termoacumuladores deve ser isolada. Em geral quanto maior for a espessura do material de isolamento, menor será a perda de calor. Isolamento composto de poliuretano diminui as trocas de calor a valores insignificativos. (DANI, 2008)

2.7.2.2. Dispositivos de segurança nos termoacumuladores

- Válvula de segurança para termoacumuladores

Este tipo de válvula (Figura 30) tem a função de proteger os termoacumuladores contra a pressão de água acima do normal quando esta se aquece. Quando a água aquece, se dilata e conforme a temperatura, o seu volume pode crescer mais de 3%. (DANI, 2009)



Figura 30: Válvula de segurança para termoacumuladores. (DANI, 2009)

- Sifão

Esse sifão (Figura 31) é geralmente instalado sobre as válvulas de segurança, e é necessário ser ligado à rede de esgoto para evacuar a água que sairá do termoacumulador. Sua ligação é realizada em tubos de diâmetro de 32mm, ou diferente, fazendo o uso de um acessório de roscar de 1". (DANI, 2009)



Figura 31: Sifão utilizado em termoacumuladores. (DANI, 2009)

- Vaso de expansão de qualidade alimentar

Do mesmo modo que o vaso de expansão de aquecimento central, o vaso de qualidade alimentar é especialmente concebido para contato com água potável, ele deve absorver a dilatação da água devidamente à medida em que a mesma se aquece.

Este equipamento deve ser utilizado em conjunto com a válvula de segurança, para impedir a perda que ocorre quando a água aquece. Caso a válvula de segurança não seja utilizada, deve-se dar preferência a uma maior capacidade, uma vez que deve ser considerada a dilatação da água. A Figura 32 apresenta um vaso de expansão. (DANI, 2009)



Figura 32: Vaso de expansão para termoacumuladores. (DANI, 2009)

- Passadores termostáticos

Os passadores termostáticos (Figura 33) são de modo geral instalados sobre as saídas de água quente dos termoacumuladores. Instalando este dispositivo se economiza bastante água quente e protege contra os riscos de queimaduras. (DANI, 2009)



Figura 33: Passador termostático utilizado em termoacumuladores. (DANI, 2009)

- Redutores de pressão

Os redutores de pressão protegem a instalação contra as sobrepressões, mantendo sob uma determinada pressão. O modelo da Figura 34 apresenta um manômetro para visualizar a pressão em serviço. Este dispositivo exige manutenção periódica no caso da utilização de água de poço não filtrada. (DANI, 2009)



Figura 34: Redutor de pressão utilizado em termoacumuladores. (DANI, 2009)

2.7.2.3. Tipos de instalações

Existem dois tipos de instalações, as com caixas de distribuição e as instalações bi-tubo.

As instalações bi-tubo (Figura 35) são mais utilizadas com os materiais que não fazem uso de acessórios mecânicos, assim como o cobre soldado e o Polipropileno Copolímero Random tipo 3 (PPR).

Este sistema de distribuição é mais antigo, econômico e eficaz, pelas seguintes razões: Mais rápidos de instalar, mais econômico em mão de obra e material, deve-se reduzir os diâmetros após ter alimentado cada ponto de aquecimento ou instrumento sanitário. (DANI, 2008)

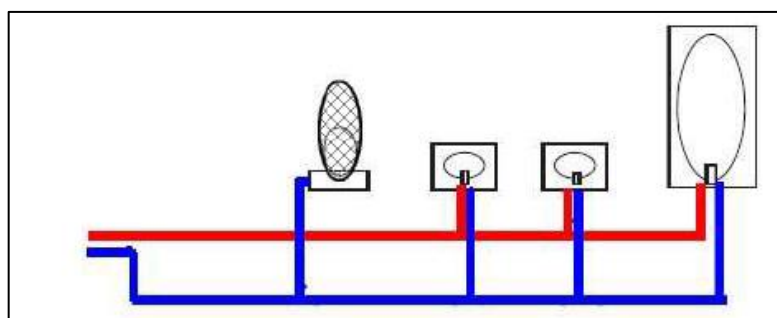


Figura 35: Instalação do tipo bi-tubo; um tubo para água fria e outro para quente. (DANI, 2017)

As instalações que possuem caixas de distribuição também são chamadas de instalações de tipo polvo (sistema centralizado com distribuição ramificada), este tipo de instalação é apresentado na Figura 36.

Em comparação ao tipo de instalações bi-tubo, este sistema utiliza mais tubos e menos acessórios. (DANI, 2008)

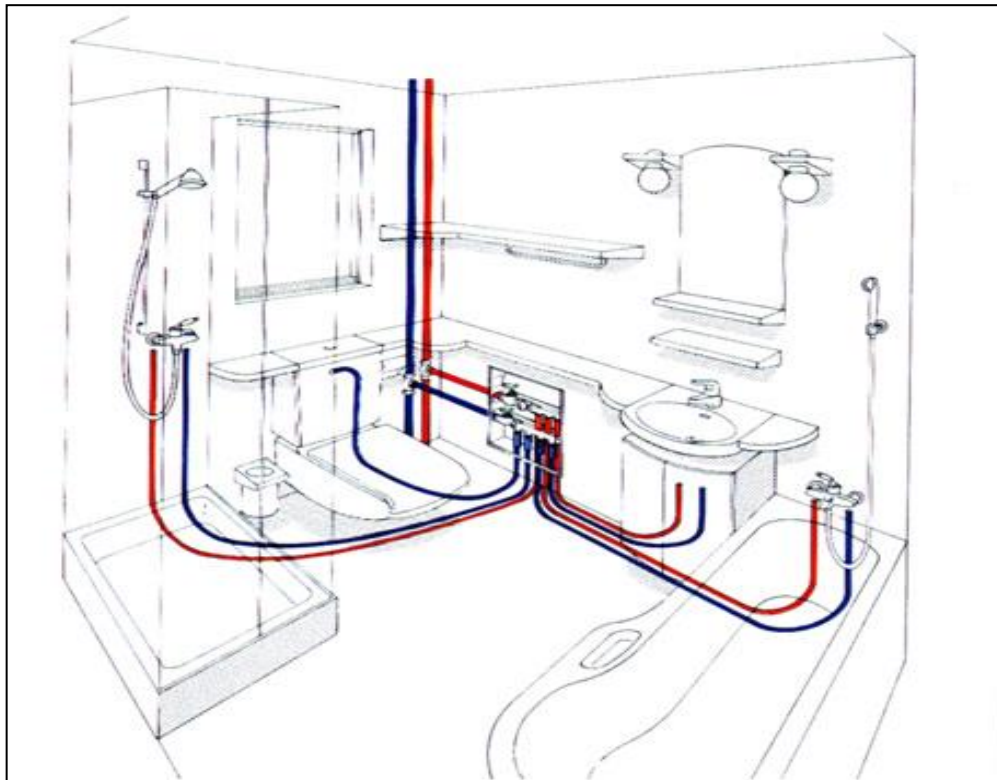


Figura 36: Instalação do tipo "polvo". (DANI, 2008)

2.7.2.4. Esquema de montagem de termoacumuladores

2.7.2.4.1. Pequenas capacidades

Estes termoacumuladores possuem reservatórios de pequena capacidade, entre 15 e 30 litros, podendo conter ou não válvula de segurança. Esquemas de montagem deste tipo de termoacumuladores são apresentados na figura 37, 38 e 39. (DANI, 2010)

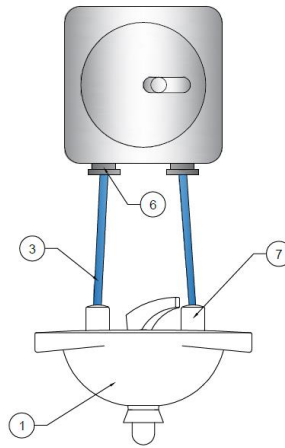


Figura 37: Reservatório suspenso com válvula integrada na torneira. (adaptado de DANI, 2010)

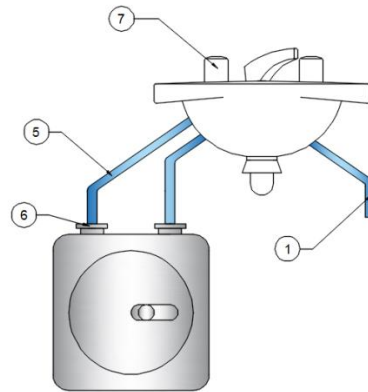


Figura 38: Reservatório debaixo de bancada com válvula integrada na torneira. (adaptado de DANI, 2010)

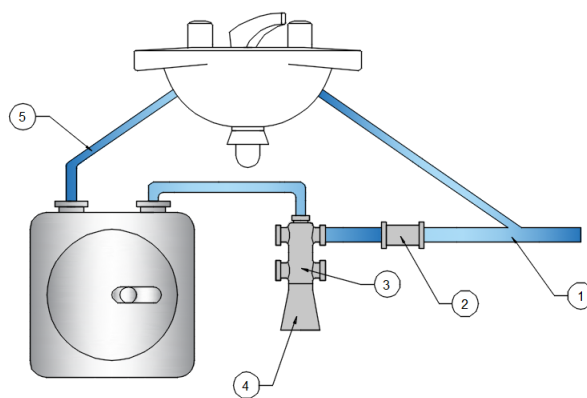


Figura 39: Reservatório debaixo de bancada com válvula separada. (adaptado de DANI, 2010)

Tabela 03: Legenda das Figuras 37, 38 e 39. (DOS AUTORES)

Número	Componente
1	Chegada de água fria
2	Redutor de pressão
3	Válvula de segurança (obrigatório)
4	Sifão de água quente
5	Saída de água quente
6	Anel dielétrico
7	Torneira com válvula integrada

2.7.2.4.2. Termoacumuladores murais

Estes termoacumuladores possuem capacidade de 50 à 200 litros. Esquemas de montagens são apresentados nas Figuras 40, 41 e 42. (DANI, 2010)

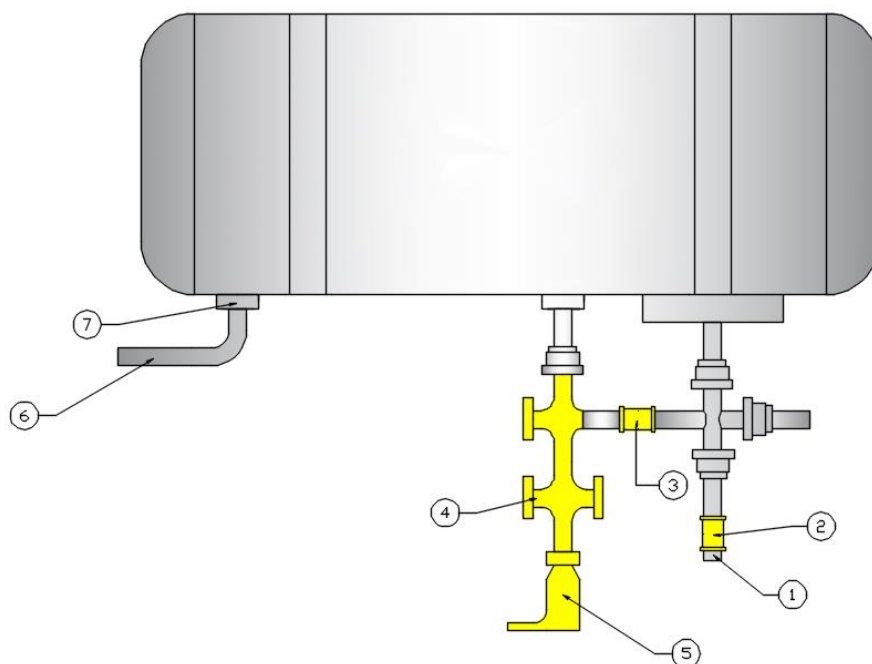


Figura 40: Esquema de montagem de termoacumulador horizontal. Alimentação por baixo. (adaptado de DANI, 2010)

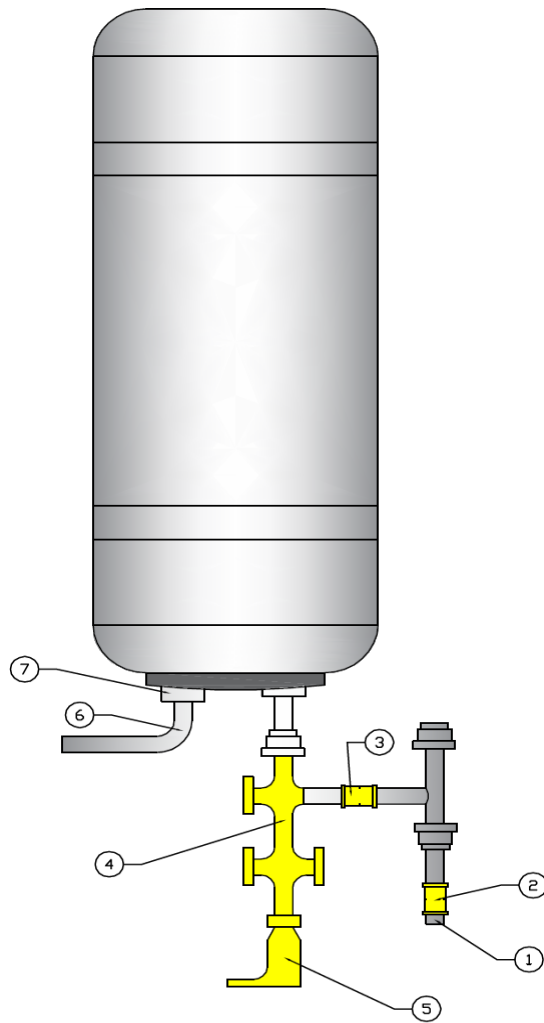


Figura 41: Esquema de montagem de termoacumulador vertical. (adaptado de DANI, 2010)

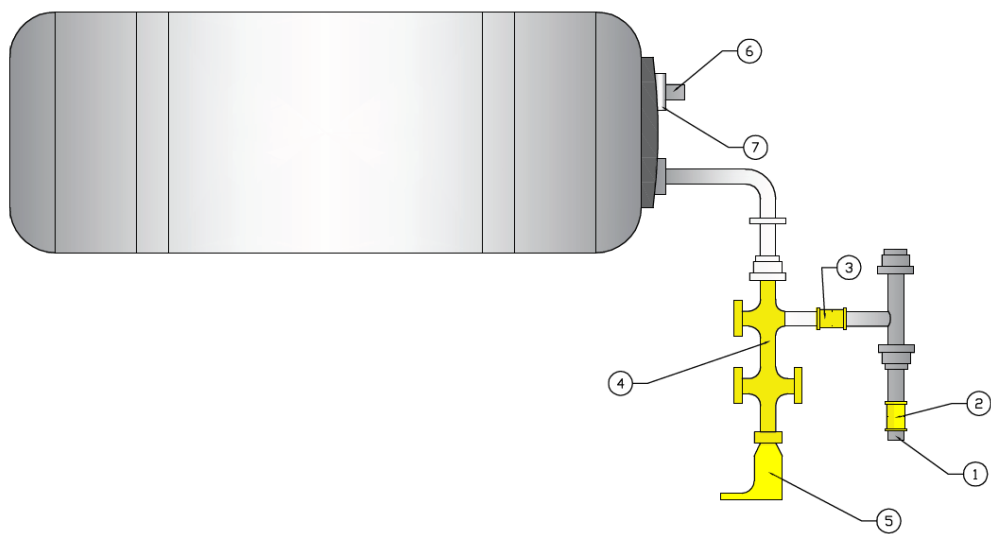


Figura 42: Esquema de montagem de termoacumulador horizontal. Alimentação ao topo. (adaptado de DANI, 2010)

Tabela 04: Legenda das Figuras 40, 41 e 42. (DOS AUTORES)

Número	Componente
1	Chegada de água fria
2	Torneira de corte
3	Redutor de pressão
4	Válvula de segurança (obrigatória)
5	Sifão ligado aos esgotos
6	Saída de água quente
7	Anel dielétrico

2.7.2.4.3. Termoacumuladores de tipo estáveis

Os termoacumuladores de tipo estáveis (Figura 43) são posicionados diretamente no chão, normalmente possuem pés de maneira a ficar nivelados sem balançar a alimentação que se encontra do lado.

As capacidades são a partir de 200 litros e existem até 1000, 1500 litros ou mais em casos de instalações coletivas. (DANI, 2010)

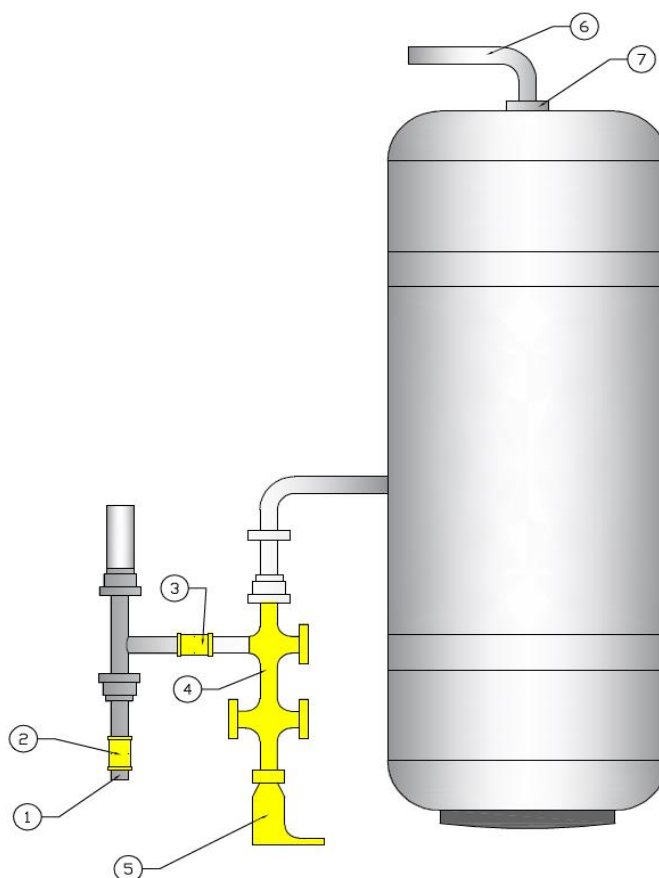


Figura 43: Esquema de montagem de termoacumulador estável vertical. (adaptado de DANI, 2010)

Tabela 05: Legenda da Figura 43. (DOS AUTORES)

Número	Componente
1	Chegada de água fria
2	Torneira de corte
3	Redutor de pressão
4	Válvula de segurança (obrigatória)
5	Sifão ligado aos esgotos
6	Saída de água quente
7	Anel dielétrico

2.7.2.5. Capacidade e consumo dos termoacumuladores com resistência elétrica

Na hora de comprar um eletrodoméstico, é preferível optar pelos equipamentos com classe energética A, já que são mais eficientes e apresentam menor consumo de energia. O consumo elétrico é um critério básico a ser levado em conta quando se adquire um termoacumulador. (DANI, 2008)

2.7.2.5.1. Consumo elétrico

Cada litro de água que adentra no termoacumulador necessita de 11W de eletricidade por um período de 7 horas para aquecer a uma temperatura de 60°C.

Logo, um litro de água precisa de 77 watts para aquecer e se manter aquecido durante 24 horas. Caso o termoacumulador possua uma capacidade de 100 litros serão necessários 7.7kW consumidos em cada período de 24 horas. (DANI, 2008)

2.7.2.5.2. Capacidade

Os termoacumuladores devem ser dimensionados conforme as necessidades dos utilizadores. À medida que a água quente deixa o termoacumulador a água fria entra, portanto, quando a água quente acaba, é necessário aguardar um certo tempo para utilizar água quente de novo.

Além disso, o consumo diário pode ser influenciado por outros fatores, como a periodicidade dos banhos ou preferência por banhos de imersão.

As capacidades disponíveis para os termoacumuladores em geral são de 15 litros à 300 litros, podendo existir capacidades superiores em casos especiais. (DANI, 2008)

2.7.2.6. Termoacumuladores com mais de uma fonte de energia

Um acumulador de água quente com trocador de calor (Figura 44) é simplesmente um termoacumulador elétrico de água com capacidade variável, no qual são instaladas uma ou mais serpentinas, que possibilitam a circulação de um fluido aquecido, o que permite trocar calor do fluido para água sem haver contato físico, o que garante a qualidade da água potável no acumulador. (ALVES, 2013)

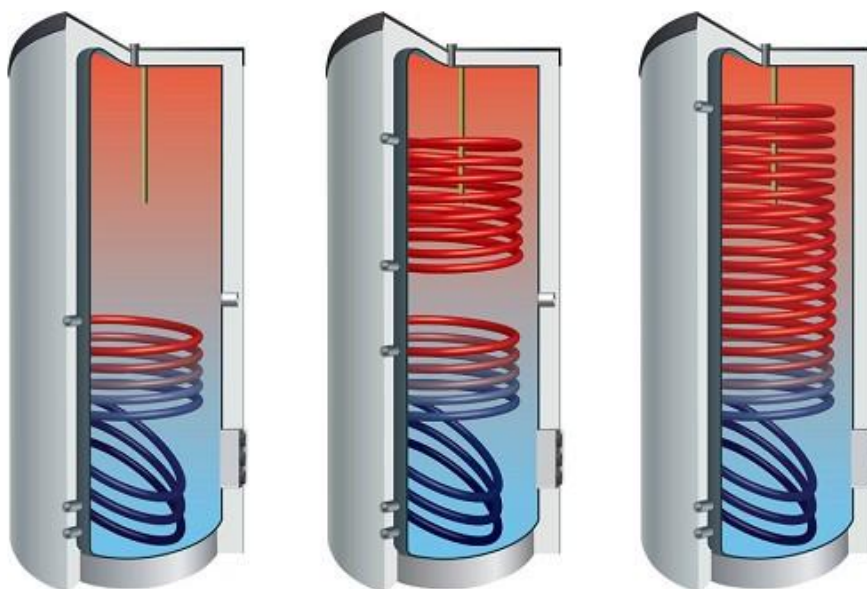


Figura 44: Ilustração de um termoacumulador com serpentinas para troca de calor (ALVES, 2013)

Os acumuladores com serpentinas permitem combinar diferentes fontes de energia para aquecimento da água de uso doméstico, podendo a resistência elétrica complementar quando os outros sistemas não forem capazes de fornecer a energia necessária, assim como um ou mais trocadores integrados, permitindo a ligação de vários dispositivos de geração de calor (caldeira a lenha, a gás ou óleo, bomba de calor ou painéis solares, ou sistemas de lareira).

A mescla de energia e tecnologia é uma alternativa que favorece o uso de energias renováveis. (ALVES, 2013)

As figuras 45 e 46 mostram algumas fontes de energia para aquecimento da água dentro do mesmo termoacumulador:

Dupla energia

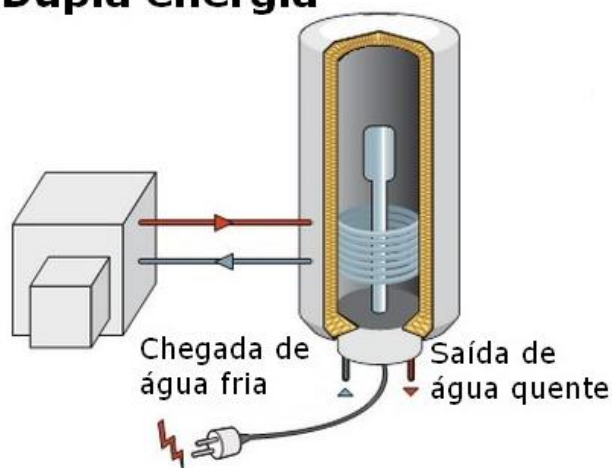


Figura 45: Acumulador equipado com um trocador de calor conectado à uma caldeira e uma resistência elétrica. A água é aquecida pela fonte de energia mais econômica. A resistência é acionada quando esta fonte não for capaz de atender o sistema. Pode-se programar a resistência para que seja ligada em um determinado horário. (ALVES, 2013)

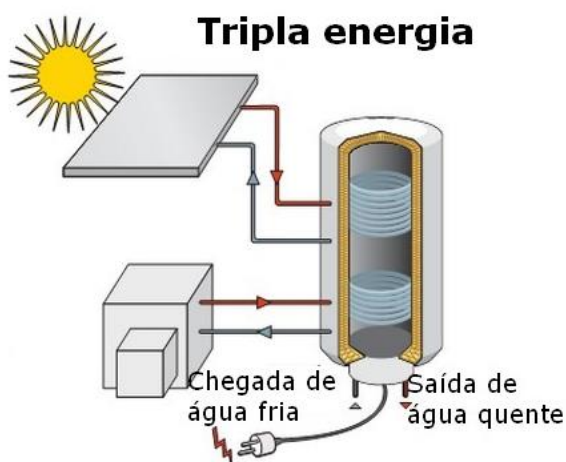


Figura 46: Acumulador equipado com um trocador de calor ligado a um dispositivo de aquecimento (bomba de calor ou painéis solares) e um segundo trocador de calor acoplado a uma caldeira. Uma fonte de energia renovável aquece a água. Se isso não ocorrer, a caldeira. Uma fonte de energia renovável aquece a água. Se isso não ocorrer, a caldeira assume. A resistência elétrica é acionada em último caso, quando as demais fontes não puderem atender a demanda. (ALVES, 2013)

3. METODOLOGIA

A Figura 47 abaixo descreve as etapas principais na construção e desenvolvimento da estrutura do trabalho:

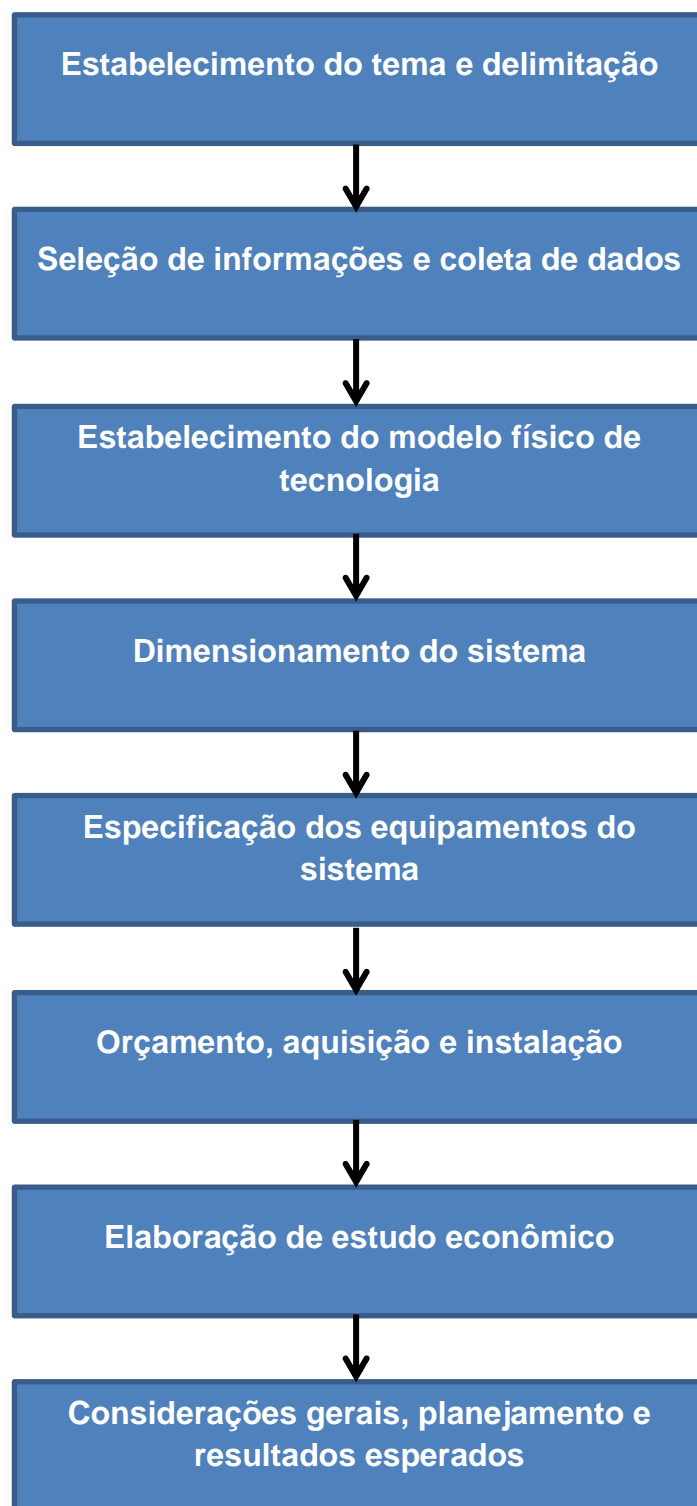


Figura 47: Metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto. (DOS AUTORES)

3.1. Estabelecimento do tema e delimitação

O presente trabalho consiste na elaboração de uma análise técnica dos métodos e componentes integrantes do sistema de acumulação de água quente projetado para aproveitamento da energia solar, e uma avaliação econômica do potencial de implantação deste método em um empreendimento na região Sul Fluminense.

3.2. Seleção de informações e coleta de dados

Esta etapa é desenvolvida sustentando-se em referências bibliográficas concernentes a aspectos ambientais e de operação da matriz energética brasileira, maneiras de aproveitamento energético e princípios normatizados de projeto e funcionamento dos sistemas de termoacumulação.

A coleta de dados se efetiva com visitas *in loco* ao empreendimento alvo do estudo. Nesta são realizados levantamentos de capacidade necessária para o sistema de acumulação, orientação geográfica da área disponível e de outras características particulares para o atendimento seguro e eficaz ao fim que o sistema se destina.

3.3. Estabelecimento do modelo físico de tecnologia

O modelo utilizado para termoacumulação neste projeto é o de termossifão, que possibilita a circulação de água através da diferença de densidades oriunda do aquecimento e entrada de água fria, fenômeno conhecido como estratificação térmica.

Por possuir características mais simples de funcionamento, este modelo também apresenta menores custos de implantação quando comparado ao sistema de circulação forçada.

As diferenças de altura entre o ponto de locação do tanque, das placas e dos pontos de tiragem, permitem a utilização do modelo adotado sem prejuízos ao funcionamento.

3.4. Dimensionamento do sistema

O dimensionamento do sistema é realizado baseando-se em normas técnicas nacionais e boas práticas do mercado de aquecimento de água. Todo o desenvolvimento desta etapa é realizado com o objetivo da garantia de fornecimento de água aquecida sempre que requerido, mantendo o custo de implantação o mais baixo possível, garantindo assim a atratividade do projeto.

3.5. Especificação dos equipamentos do sistema

A seleção dos equipamentos é feita através de pesquisa de mercado, considerando a necessidade de projeto revelada no dimensionamento, a qualidade dos materiais, características de funcionamento e avaliações do INMETRO.

3.6. Orçamento, aquisição e instalação

A etapa relacionada aos custos do projeto consiste na realização de três orçamentos com diferentes empresas fornecedoras, de modo a garantir o levantamento de custo médio de aquisição do sistema.

A aquisição propriamente dita e a instalação do sistema são efetuadas a partir do resultado dos orçamentos.

3.7. Elaboração de estudo econômico

O principal objetivo do estudo de viabilidade econômica é determinar a possibilidade de implantação do sistema de termoacumulação de água quente em uma cidade da região Sul Fluminense com retorno financeiro em um período razoável.

O estudo econômico compara os custos do sistema estudado com o método convencional de aquecimento de água, utilizando técnicas atuais de gerenciamento de projetos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo abordou a possibilidade de implantação da técnica de termoacumulação de água quente para otimização dos custos com energia elétrica em um empreendimento de médio porte, localizado em Pinheiral-RJ, região Sul Fluminense.

A propriedade possui um total de 1719 m² de área construída. O segundo pavimento, no qual estão localizados as suítes objetivo deste estudo, possui uma área construída de 336 m².

Ao todo, 12 suítes serão atendidas com água quente proveniente do sistema de termoacumulação.

Nas Figuras 48 à 50 abaixo, temos uma visão geral da planta do empreendimento e da vista frontal do mesmo:

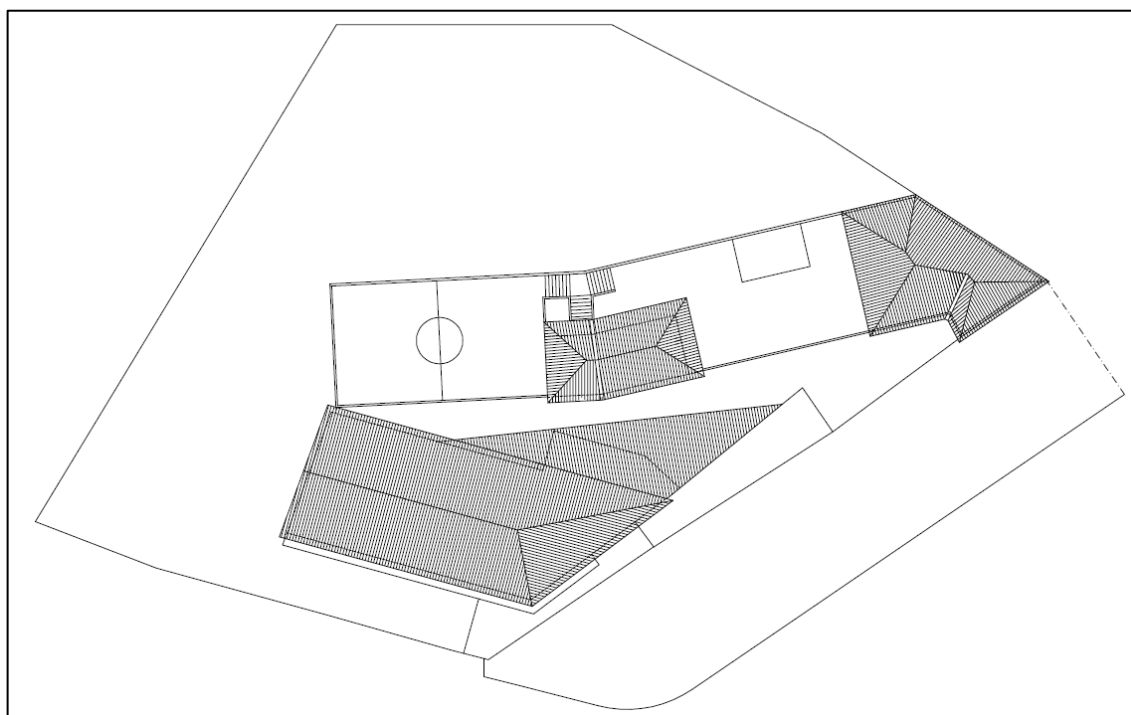


Figura 48: Vista geral do empreendimento. (DOS AUTORES)

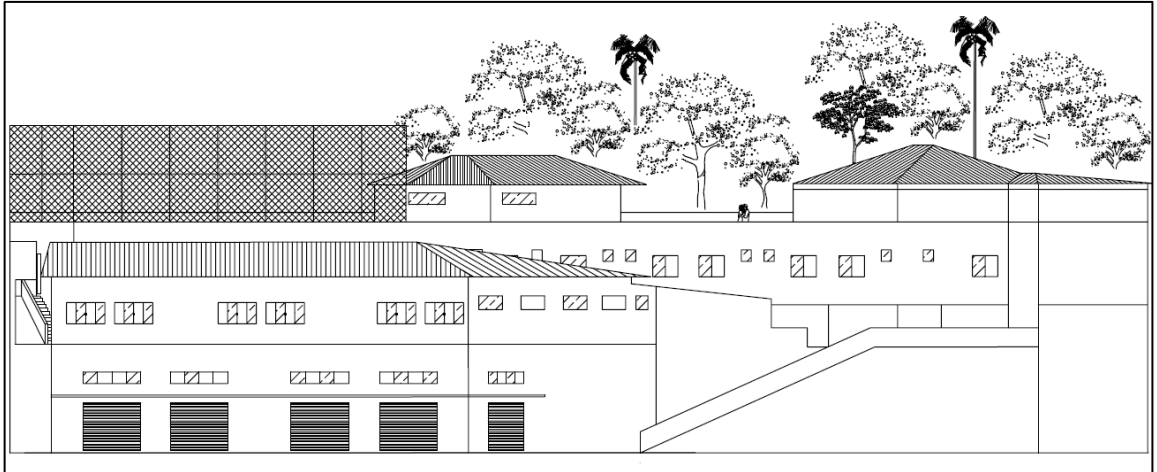


Figura 49: Vista frontal do empreendimento. (DOS AUTORES)



Figura 50: Empreendimento em construção. (DOS AUTORES)

Na Figura 51 podemos observar a disposição das suítes, já na Figura 52 é apresentada o local de construção das mesmas:

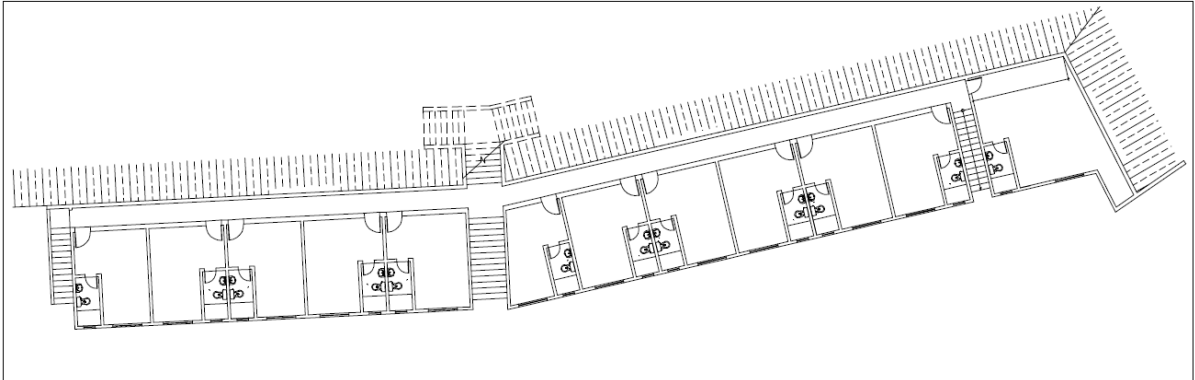


Figura 51: Planta baixa das 12 suítes. (DOS AUTORES)



Figura 52: Suítes do empreendimento em construção. (DOS AUTORES)

4.1. Determinação da capacidade do tanque acumulador

De acordo com NBR 7198/1993, que estabelece as exigências técnicas mínimas de execução de um projeto de instalações de água quente, em seu tópico 5.6, as vazões de projeto podem ser determinadas por método empírico ou probabilístico, desde que convenientemente justificado.

Para a determinação de tiragem em cada ponto, consultamos a curva de vazão do chuveiro utilizado, levando em consideração a altura do acumulador em relação ao chuveiro, que representará a pressão de funcionamento (metros de coluna d'água – mca).

A altura entre o acumulador e o chuveiro é de 5 metros, assim como é mostrado na Figura 53.

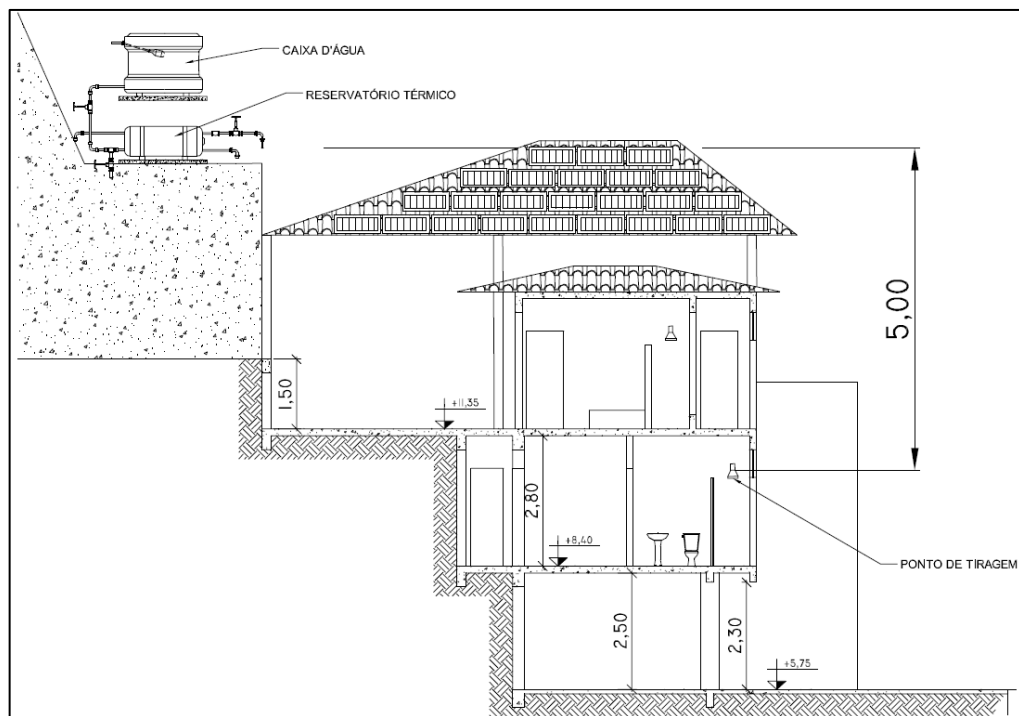


Figura 53: Vista frontal contendo cota entre o acumulador e o ponto de tiragem (DOS AUTORES)

No empreendimento será utilizado o chuveiro com tubo de parede, da marca Deca, modelo Balance 12, que possui a curva de vazão de acordo com a figura 54.

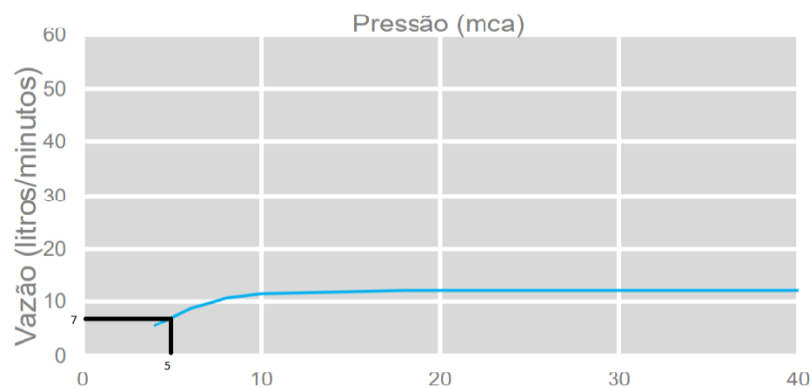


Figura 54: Curva vazão x pressão da Ducha Balance 12 (DECA, 2017)

Ao cruzar o valor da pressão de 5 mca com o gráfico obtemos a vazão de 7 litros/minuto.

Este valor está de acordo com a NBR 15569/2008 que estabelece um consumo de 3 a 15 litros/minuto conforme pode ser observado na Tabela 06.

Tabela 06: Consumo de pontos de utilização de água quente (NBR 15569/2008)

Peças	Consumo mínimo	Consumo máximo	Ciclo diário (minuto/pessoa)	Temperatura de consumo °C
Ducha de banho	3,0 L/min	15,0 L/min	10	39 - 40
Lavatório	3,0 L/min	4,8 L/min	2	39 - 40
Ducha Higiênica	3,0 L/min	4,8 L/min	2	39 - 40
Banheira	80 L	440 L	banho	39 - 40
Pia de cozinha	2,4 L/min	7,2 L/min	3	39 - 40
Lava-louças (12 pessoas)	20 L	20 L	ciclo de lavagem	39 - 50
Máquina de lavar roupa	90 L	200 L	ciclo de lavagem	39 - 40

Esta mesma tabela estabelece um tempo de banho de 10min/pessoa por ciclo, para uma temperatura de 39°C à 40°C.

A NBR 15569/2008 define o volume de água quente consumido diariamente por pessoa, através da seguinte equação:

$$V_{consumo} = \sum (Q_{pu} \times T_u \times \text{frequência de uso}) \quad (2)$$

Onde:

- $V_{consumo}$ é o volume total de água quente consumido diariamente expresso em metros cúbicos (m³);
- Q_{pu} é a vazão da peça de utilização, expressa em metros cúbicos por segundo (m³/s);
- T_u é o tempo médio de uso diário da peça de utilização, expresso em segundos (s);

- Frequência de uso é o numero total de utilizações da peça por dia.

Logo:

$$Q_{pu} = 7 \frac{L}{min} \times \frac{1 m^3}{1000 L} \times \frac{1 min}{60 s} = 0,00011666 m^3/s$$

Para obtermos uma vazão de 0,00011666 m³/s à 40°C (temperatura máxima de água para banho de acordo com a NBR 7198/1993, tópico 5.3), utilizamos a equação da quantidade de calor, oriunda da Termodinâmica (BORGNAKKE, SONNTAG, 2013), para determinar a proporção entre a vazão de água quente e a fria:

$$Q = m \times c_p \times \Delta T \quad (1)$$

Assim,

$$Q_m = Q_f + Q_q \quad (3)$$

Como o calor específico da água é constante, podemos simplificar a equação (3):

$$\dot{m}_f \times T_f + \dot{m}_q \times T_q = \dot{m}_m \times T_m \quad (4)$$

Onde:

- Q = Quantidade de calor [J]
- \dot{m} = vazão [kg/s]; [L/min]
- ΔT = diferencial de temperatura da água e do ambiente [°C]
- \dot{m}_m = vazão mássica da mistura [kg/s]
- T_m = Temperatura da mistura [°C]
- \dot{m}_f = vazão mássica de água fria [kg/s]
- T_f = Temperatura de água fria [°C]
- \dot{m}_q = vazão mássica de água quente [kg/s]
- T_q = Temperatura de água quente [°C]

Deste modo, utilizando o método de sistemas lineares, conseguimos determinar as vazões:

$$Q_f + Q_q = 7 \frac{L}{min}$$

$$\therefore Q_f = 7 \frac{L}{min} - Q_q$$

Substituindo na equação da mistura (4):

$$(7 - Q_q) \frac{L}{min} \times 24^\circ C + Q_q \frac{L}{min} \times 60^\circ C = 7 \frac{L}{min} \times 40^\circ C$$

$$168 \frac{L \times ^\circ C}{min} - 24^\circ C \times Q_q \frac{L}{min} + 60^\circ C \times Q_q \frac{L}{min} = 280 \frac{L \times ^\circ C}{min}$$

$$36^\circ C \times Q_q \frac{L}{min} = 112 \frac{L \times ^\circ C}{min}$$

$$Q_q = 3,111 \frac{L}{min} \text{ ou } 0,00005158158 \frac{m^3}{s}$$

Portanto, a vazão de água fria será de:

$$Q_f = 3,888 \frac{L}{min} \text{ ou } 0,00006481481 \frac{m^3}{s}$$

Assim o consumo de água quente do tanque, é calculado por pessoa, conforme descrito na NBR 15569/2008:

$$V_{consumo} = Q_{pu} \times T_u \times Freq \quad (5)$$

$$V_{consumo} = 0,00005158158 \dots \frac{m^3}{s} \times \left(10 \text{ min} \times 60 \frac{s}{min}\right) \times 2$$

$$V_{consumo} = 0,0618979 \text{ m}^3 \text{ ou } 61,8979L \text{ por pessoa.}$$

Como cada suíte deverá comportar em média duas pessoas, o volume de consumo de água quente total será de:

$$V_{consumo} = V_{consumo/pessoa} \times n^{\circ} \text{ de pessoas por suíte} \times n^{\circ} \text{ de suítes} \quad (6)$$

$$V_{consumo} = 0,0618979 \text{ m}^3 \times 2 \times 12$$

$$V_{consumo} = 1,4855496 \text{ m}^3$$

Desta forma, calculamos o volume que o tanque de água quente deverá armazenar para atender a demanda:

$$V_{armaz} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz} - T_{ambiente})} \quad (7)$$

Onde:

- $V_{consumo}$ é o volume de consumo diário, expresso em metros cúbicos (m^3);
- V_{armaz} é o volume do sistema de armazenamento do Sistema de Aquecimento Solar, expresso em metros cúbicos (é sugerido que $V_{armaz} \geq 75\% V_{consumo}$);
- $T_{consumo}$ é a temperatura de consumo de utilização, expressa em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) (é sugerido que se adote 40°C);
- T_{armaz} é a temperatura de armazenamento da água, expressa em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) (é sugerido que $T_{armaz} \geq T_{consumo}$);
- $T_{ambiente}$ é a temperatura ambiente média anual do local de instalação (Figura 55)

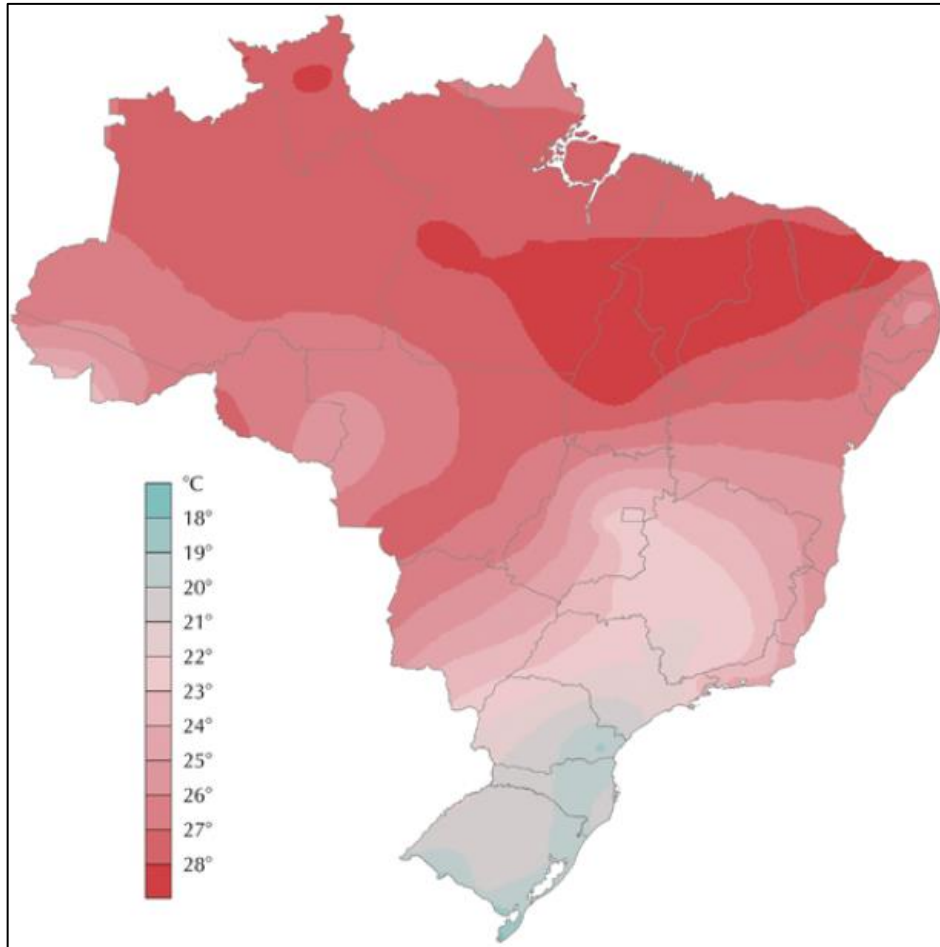


Figura 55: Mapa da média anual de temperatura obtido por interpolação Krigging. (PEREIRA et al., 2006)

Então:

$$V_{armaz} = \frac{1,4855496 \text{ m}^3 \times (40^\circ\text{C} - 24^\circ\text{C})}{(60^\circ\text{C} - 24^\circ\text{C})}$$

$$V_{armaz} = 0,66024427 \text{ m}^3 \text{ ou } 660,24427 \text{ L}$$

A norma NBR 15569/2008 sugere que a vazão de armazenamento seja $\geq 75\%$ da vazão de consumo diário. Então:

$$1,4855496 \text{ m}^3 \times 0,75 = 1,1141622 \text{ m}^3 \text{ ou } 1114,622 \text{ L}$$

Por efeitos comerciais, adotamos a capacidade de 600L para o tanque acumulador deste sistema. Neste caso, são necessários dois tanques.

4.2. Cálculo da demanda energética para aquecer a água do tanque

Calculada a capacidade de armazenamento do tanque, pudemos determinar a demanda energética necessária para aquecer a água.

$$E_{\text{útil}} = \frac{V_{\text{armaz}} \times \rho \times C_p \times (T_{\text{armaz}} - T_{\text{ambiente}})}{3600} \quad (8)$$

Onde:

- $E_{\text{útil}}$ é a energia útil, expressa em quilowatts hora por dia (kWh/dia);
- V_{armaz} é o volume do sistema de armazenamento do Sistema de Aquecimento Solar, expresso em metros cúbicos (m^3);
- ρ é a massa específica da água igual a 1000, expressa em quilogramas por metros cúbicos (kg/m^3);
- C_p é o calor específico da água igual a 4,18, expresso em quilojoules por quilograma Kelvin (kJ/kgK);
- T_{armaz} é a temperatura de armazenamento da água, expressa em graus Celsius ($^{\circ}C$);
- T_{ambiente} é a temperatura ambiente média anual do local de instalação.

Desse modo:

$$E_{\text{útil}} = \frac{1,2m^3 \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 4,18 \frac{kJ}{kgK} \times (60^{\circ}C - 24^{\circ}C)}{3600}$$

$$E_{\text{útil}} = 50,16 \text{ kWh/dia}$$

4.3. Dimensionamento da área coletora

Para definir a área de placas coletoras necessárias para aquecer a água do tanque, utilizamos os seguintes cálculos padronizados:

$$A_{coletora} = \frac{(E_{\acute{u}til} + E_{perdas}) \times FC_{instal} \times 4,901}{PMDEE \times I_g} \quad (9)$$

Onde:

- $A_{coletora}$ é a área coletora, expressa em metros quadrados (m²);
- I_g é o valor da irradiação global média anual para o local da instalação, expresso em quilowatts hora por metro quadrado dia (kWh/m².dia);
- $E_{\acute{u}til}$ é a energia útil, em quilowatts hora por dia (kWh/dia);
- E_{perdas} é o somatório das perdas térmicas dos circuitos primário e secundário, expresso em quilowatts hora por dia (kWh/dia), calculada pela soma das perdas ou da equação:

$$E_{perdas} = 0,15 \times E_{\acute{u}til} \quad (10)$$

- $PMDEE$ é a produção média diária de energia específica do coletor solar, expressa em quilowatts hora por metro quadrado (kWh/m²), calculada através da equação:

$$PMDEE = 4,901 \times (Fr_{\tau a} - 0,0249 \times Fr_{UL}) \quad (11).$$

Sendo:

$Fr_{\tau a}$ é o coeficiente de ganho do coletor solar (adimensional);

Fr_{UL} é o coeficiente de perdas do coletor solar (adimensional);

- FC_{instal} é o fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar dado pela equação:

$$FC_{instal} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{ótimo})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \gamma^2]} \quad (12)$$

Onde:

- β é a inclinação do coletor em relação ao plano horizontal, expressa em graus ($^{\circ}$);
- $\beta_{ótimo}$ é a inclinação ótima do coletor para o local de instalação, expressa em graus ($^{\circ}$);
- γ é o ângulo de orientação dos coletores solares em relação ao norte geográfico, expresso em graus ($^{\circ}$).

Sendo assim, procede-se o calculo da irradiação global média:

$$I_g = I_{difusa} + I_{direta} \quad (13)$$

A seguir, a Figura 56 mostra a incidência média anual de radiação difusa no Estado do Rio de Janeiro:

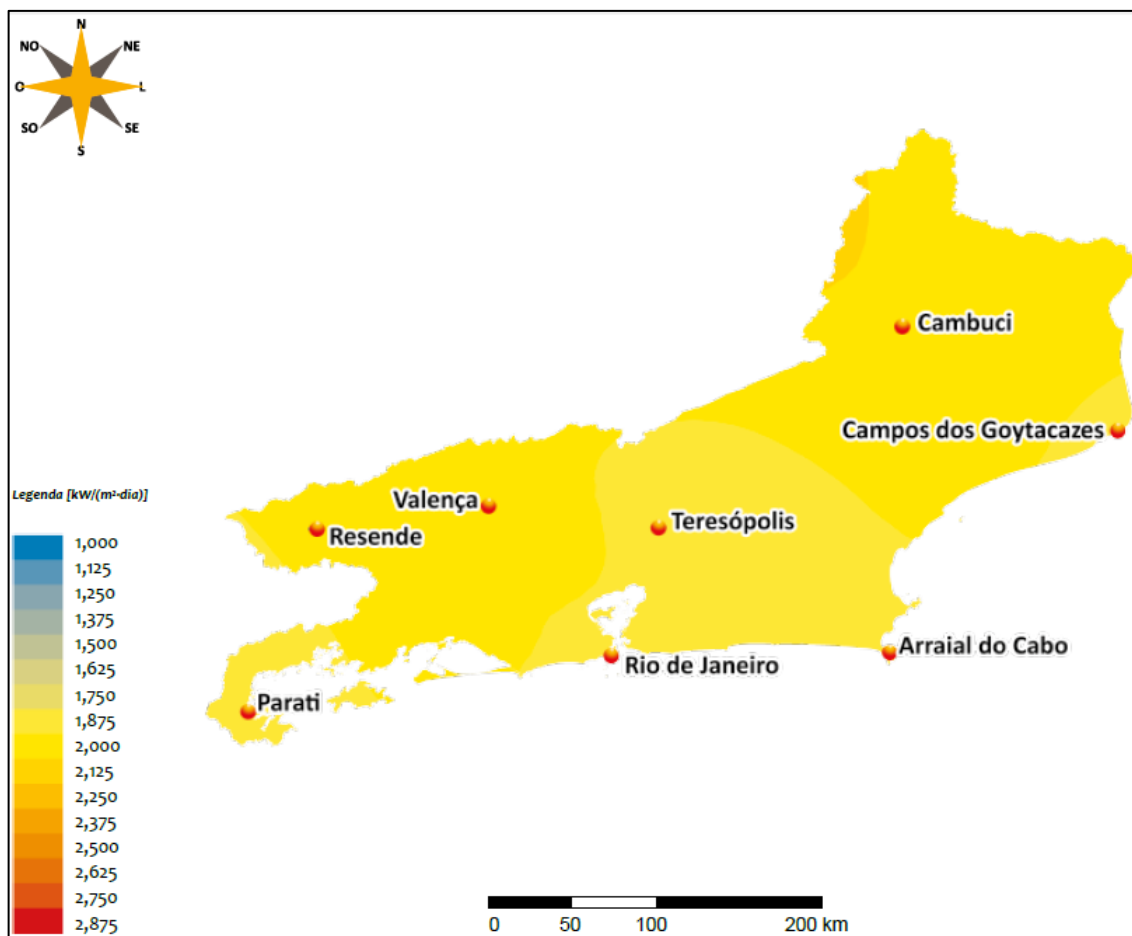


Figura 56: Irradiação solar difusa média anual no estado do Rio de Janeiro (IEPUC - INSTITUTO DE ENERGIA DA PUC-RIO, 2016)

De acordo com o atlas Rio Solar, a média de irradiação difusa para a região sul fluminense é de 2,0 kW/m².dia

Do mesmo modo, a média anual de irradiação direta também pode ser definida conforme demonstra a Figura 57:

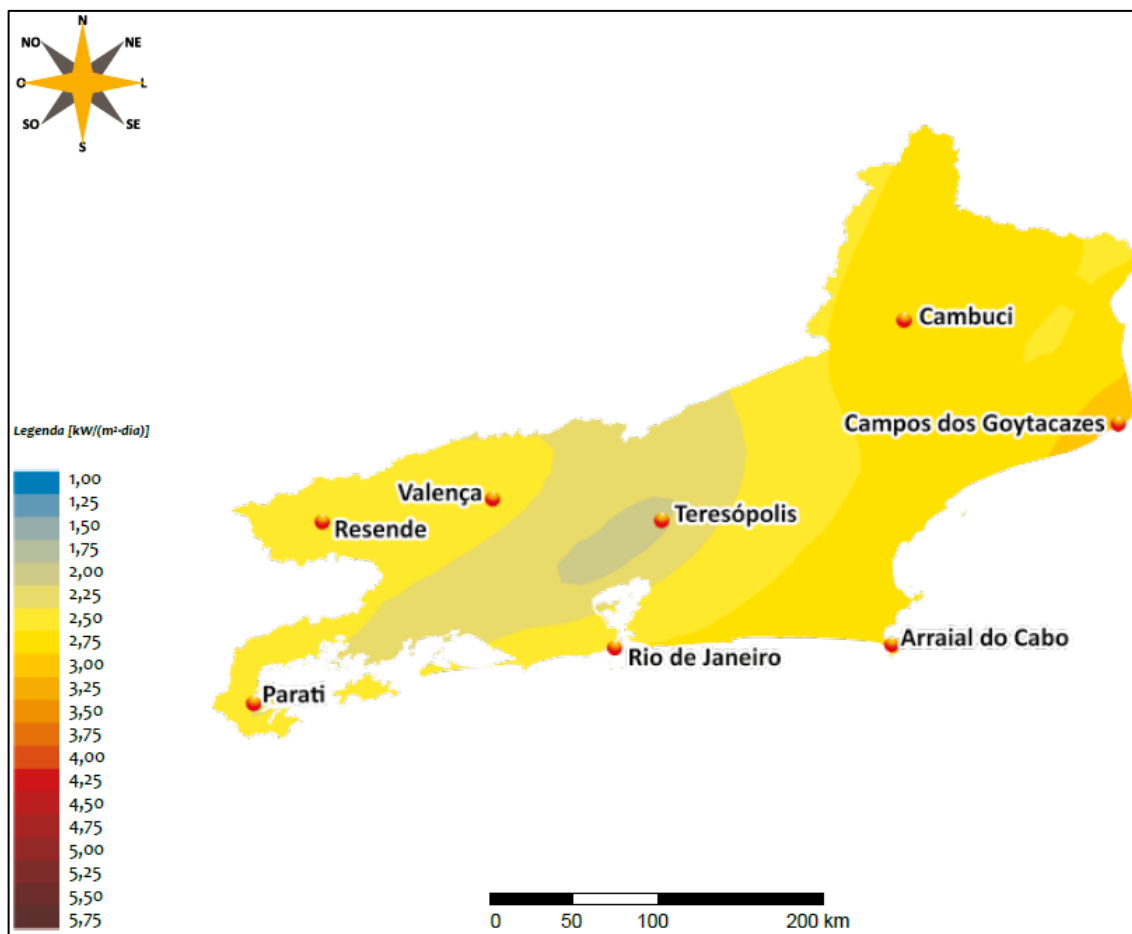


Figura 57: Irradiação solar direta média anual no estado do Rio de Janeiro (IEPUC - INSTITUTO DE ENERGIA DA PUC-RIO, 2016)

Analisando a figura acima, é determinado o valor de 2,50 kW/m².dia para a irradiação direta média.

Posto isso, podemos concluir o valor da irradiação global média anual para o local da instalação:

$$I_g = I_{difusa} + I_{direta}$$

$$I_g = 2,0 \frac{kW}{m^2 \cdot dia} + 2,5 \frac{kW}{m^2 \cdot dia}$$

$$I_g = 4,5 \frac{kW}{m^2 \cdot dia}$$

Cálculo do somatório de perdas térmicas:

$$E_{perdas} = 0,15 \times 50,16 \frac{kWh}{dia}$$

$$E_{perdas} = 7,524 \frac{kWh}{dia}$$

Cálculo do PMDEE:

Para esta aplicação, realizamos uma pesquisa de mercado para verificarmos dentre as opções existentes de placas coletoras, qual a que oferece melhor custo x benefício, considerando o rendimento avaliado pelo INMETRO e o preço de venda.

Foi então selecionado o modelo Coletor Solar MC10 Evolution Heliotek (Bosch). Este apresenta $Fr_{\tau a} = 0,681$ e $Fr_{UL} = 5,421$, conforme avaliação do INMETRO mostrada na Tabela 07.

Tabela 07: Tabelas de Consumo / Eficiência Energética de coletores solares para banho e piscina. (adaptado de INMETRO)

Empresa	Marca	Modelo	Área (m ²)	Classificação	$Fr_{\tau a}$	Fr_{UL}
BOSCH	HELIOTEK	MC10 Evolution	1,00	B	0,681	5,421

Logo:

$$PMDEE = 4,901 \times (0,681 - 0,0249 \times 5,421)$$

$$PMDEE = 2,676 \frac{kWh}{m^2}$$

O fator de correção para inclinação e orientação do coletor (FC_{instal}) é calculado em seguida.

A longitude e a latitude do local do projeto são respectivamente: -44.0067376 e -22.5117768.

A inclinação β do coletor será a mesma do telhado da área coberta localizada no terceiro pavimento do empreendimento. Esta inclinação, conforme projeto civil é de 17° . As Figuras 58 à 60 detalham o local de instalação dos coletores.

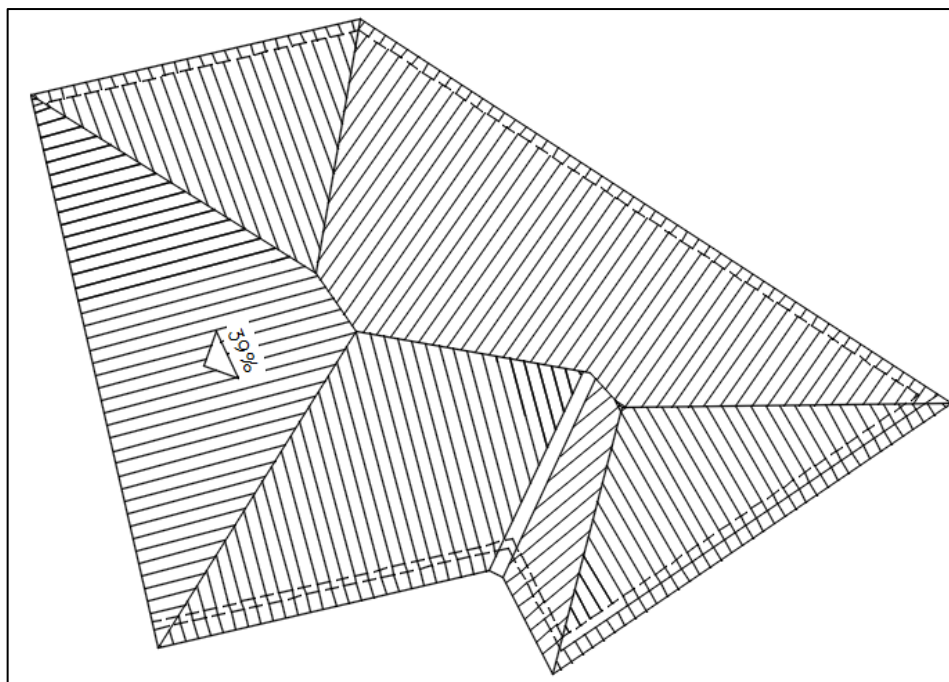


Figura 58: Detalhe do caimento do telhado para posicionamento das placas coletoras. (DOS AUTORES)



Figura 59: Área de posicionamento dos coletores. (DOS AUTORES)

A Figura 60 a seguir detalha as medidas do madeiramento do telhado e o ângulo de inclinação do mesmo:

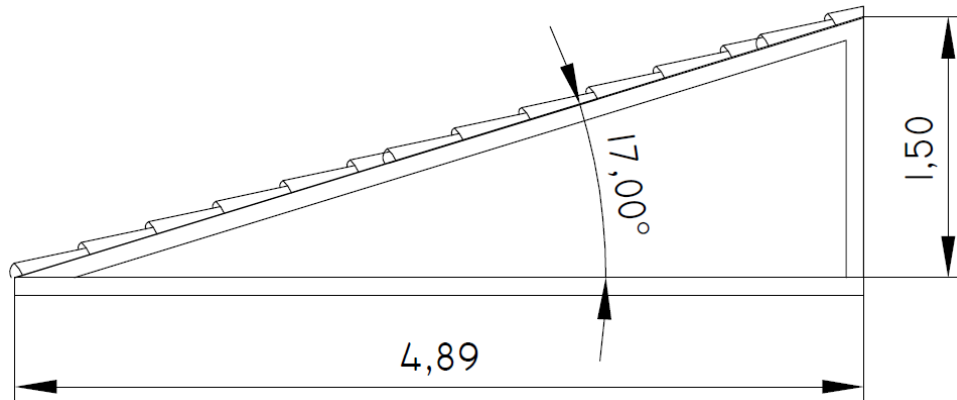


Figura 60: Vista lateral do madeiramento do telhado, detalhando o ângulo de inclinação do mesmo. (DOS AUTORES)

O ângulo $\beta_{\text{ótimo}}$ é calculado somando 10° ao módulo da latitude local (NBR 12269/2006). Desta maneira:

$$\beta_{\text{ótimo}} = |\text{latitude local}| + 10^\circ \quad (14)$$

$$\beta_{\text{ótimo}} = |-22,5^\circ| + 10^\circ = 32,5^\circ$$

Portanto:

$$FC_{\text{instal}} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (17^\circ - 32,5^\circ)^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times 5^\circ]}$$

$$FC_{\text{instal}} = 1,028$$

Portanto, a área necessária de coletores será de:

$$A_{\text{coletora}} = \frac{(50,16 + 7,524) \frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \times 1,028 \times 4,901}{2,676 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \times 4,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}}$$

$$A_{\text{coletora}} = 24,13 \text{ m}^2$$

Assim, utilizando coletores com dimensões de 1 m x 1 m, as placas devem ser alocadas conforme o arranjo mostrado na Figura 61 abaixo:

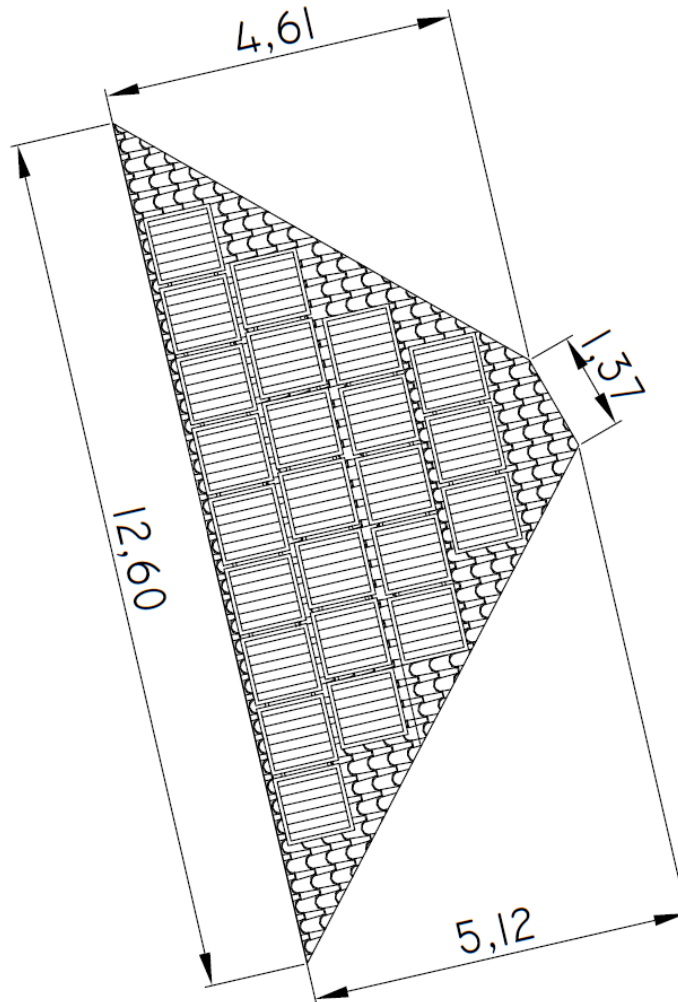


Figura 61: Arranjo das placas coletoras. (DOS AUTORES)

4.4. Especificação dos equipamentos do sistema

Em sequência, seguem os dados técnicos dos principais equipamentos a serem empregados no sistema de aquecimento solar dimensionado e que possuem relação direta com o projeto:

- Tanque: O modelo do tanque escolhido é representado na Figura 62 e sua especificação é apresentada na Tabela 08.



Figura 62: Reservatório Térmico Heliotek (HELIOTEK, 2017)

Tabela 08: Especificação do Reservatório Térmico (HELIOTEK, 2017)

Modelo	Reservatório Térmico Heliotek - Modelo MK Baixa Pressão
Capacidade	600 L
Comprimento	2300 mm
Diâmetro	680 mm
Peso vazio	30,5 kg
Material	Aço inox 444
Isolante térmico	Poliuretano expandido com injeção progressiva de alta densidade
Acessórios	Termostato duplo*, válvula de segurança, válvula quebra vácuo, resistência elétrica blindada (para casos de dias chuvosos)
Quantidade	2 Unidade

*Termostato duplo: um de segurança que visa a proteção contra superaquecimento (garantindo maior proteção ao sistema de apoio) e outro operacional.

- Coletor solar: O coletor escolhido é representado na Figura 63 e sua especificação é apresentada na Tabela 09.



Figura 63: Coletor Solar MC10 Evolution Heliotek (HELIOTEK, 2017)

Tabela 09: Especificação do Coletor Solar (HELIOTEK, 2017)

Modelo	Coletor Solar MC10 Evolution Heliotek (Bosch)
Dimensões A/L/P	1000 mm x 1000 mm x 67 mm
Produção média de energia	78,9 kWh/mês
Vazão recomendada	35 L/h
Pressão máxima admissível	4 kgf/cm ² 40 mca
Eficiência por m²	57,1%
Classificação INMETRO	B
Quantidade	24 Unidades

- Pontos de tiragem (Ducha): O tipo de ponto de tiragem adotado é representado na Figura 64 e sua especificação é apresentada na Tabela 10.



Figura 64: Chuveiro com tubo de parede Deca Balance 12 (DECA, 2017)

Tabela 10: Especificação do Ponto de Tiragem (DECA, 2017)

Modelo	Chuveiro de parede Balance 12 - 1954.C.CT.ARE - Deca
Comprimento	332 mm
Largura	130 mm
Altura	126 mm
Vazão na pressão mínima	6,0 L/min
Vazão na pressão máxima	12,3 L/min
Tipo de jato	Aerado
Quantidade	12 Unidades

- Misturador de água quente e fria: O modelo de misturador adotado é mostrado na Figura 65 e sua especificação se encontra na Tabela 11.



Figura 65: Tê Misturador de Transição Aquatherm (TIGRE, 2008)

Tabela 11: Especificação do Tê Misturador (TIGRE, 2008)

Modelo	Tê Misturador de Transição CPVC Tigre Aquatherm, Branco
Material	CPVC (cloreto de Polivinila clorado)
Temperatura máxima de trabalho	80°C
Bitola	22 x 3/4"
Quantidade	12 Unidades

- Registro: O modelo de registro escolhido é exibido na Figura 66 e sua especificação se encontra na Tabela 12.



Figura 66: Registro de chuveiro Aquatherm (TIGRE, 2016)

Tabela 12: Especificação do Registro (TIGRE, 2016)

Modelo	Registro de chuveiro Aquatherm Cromado TIGRE
Material	CPVC (cloreto de Polivinila clorado), acabamento Cromado
Bitola	22 mm
Temperatura de trabalho	80°C a 60 m.c.a. suportando picos de temperaturas de até 95°C.
Quantidade	24 Unidades

- Tubulação: O tipo de tubo utilizado para transporte de água quente é exibido na Figura 67 e sua especificação se encontra na Tabela 13.



Figura 67: Tubo CPCV Aquatherm (TIGRE, 2016)

Tabela 13: Especificação da Tubulação. (TIGRE, 2016)

Modelo	Tubo CPVC Aquatherm 3m 22mm TIGRE
Material	CPVC (cloreto de Polivinila clorado)
Bitola	22 mm
Tipo	Liso
Temperatura de trabalho	80°C a 60 m.c.a. suportando picos de temperaturas de até 95°C.
Quantidade	100 m

4.5. Orçamento do sistema

Após o dimensionamento e especificação dos componentes do sistema, é realizada a etapa de desenvolvimento de fornecedores.

A tubulação de água fria não é considerada neste orçamento, uma vez que se entende que já faz parte do custo da obra. O grupo ressalta que o arranjo da instalação de tubulação de água quente e fria, deve ser montada no modo “bi-tubo” do para o local estudado.

As conexões, mesmo que não especificadas anteriormente, estão inclusas no orçamento, assim como a mão de obra, que é baseada na média cobrada pelas prestadoras deste tipo de serviço da região.

O item “Chuveiro Elétrico” é deduzido do custo total do orçamento do projeto (Tabela 14), uma vez que este já faz parte do custo previsto para o empreendimento.

Tabela 14: Orçamento do sistema de termoacumulação. (DOS AUTORES)

Descrição	Valor	Quantidade	Unidade de medida	Total
Reservatório Térmico Heliotek 600 L	R\$ 2.143,00	2	Un.	R\$ 4.286,00
Coletor Solar MC10 Evolution Heliotek	R\$ 528,00	24	Un.	R\$ 12.672,00
Ducha de parede Deca Balance 12	R\$ 367,35	12	Un.	R\$ 4.408,20
Tubulação de Água Quente Aquatherm	R\$ 15,00	100	metros	R\$ 1.500,00
Registro Aquatherm	R\$ 40,00	24	Un.	R\$ 960,00
Tê Misturador Aquatherm	R\$ 17,99	12	Un.	R\$ 215,88
Conexão Aquatherm "T"	R\$ 5,15	12	Un.	R\$ 61,80
Outras Conexões	-	-	-	R\$ 500,00
Mão de Obra	-	-	-	R\$ 1.500,00
TOTAL				R\$ 26.103,88
Chuveiro Eletrico	R\$ 200,00	12	Un.	R\$ 2.400,00
Investimento Total				R\$ 23.703,88

Os custos citados não envolvem o transporte e entrega dos equipamentos.

5. ANÁLISE ECONÔMICA

5.1. Gasto com sistema utilizando chuveiros elétricos

O sistema proposto foi analisado e comparado ao sistema convencional que faz uso somente da energia elétrica para aquecer a água consumida durante o banho, visando à substituição do aquecimento por energia elétrica para solar.

Considerando a tarifa aplicada pela distribuidora de energia no município de Pinheiral-RJ (Light) para o mês de Maio de 2017, acrescida de impostos, a energia elétrica atinge um custo de R\$ 0,66606 por kWh. Através desses valores e considerando um tempo de banho de 10 minutos obtém-se um gasto estimado anual com aquecimento de água para banho, utilizando apenas energia elétrica, de R\$ 6.012,30.

Para esta análise, foi considerada uma ocupação total nos dias de sexta, sábado e domingo, e uma média de um terço de ocupação (quatro suítes) de segunda à quinta-feira. Baseando-se nessa taxa de ocupação podemos estimar o número total de banhos anuais, totalizando 10832 banhos por ano, conforme descrito na Tabela 15.

Tabela 15: Estimativa do número de banhos anuais no empreendimento. (DOS AUTORES)

	Dias por ano	Número de suítes ocupadas	Pessoas por suíte	Número de banhos	Total de banhos anuais
Segunda à Quinta-feira	209	4	2	2	3344
Sexta à Domingo	156	12	2	2	7488

Em seguida, é calculado o custo anual utilizando chuveiro convencional de 5,0 kWh, que é exibido na Tabela 16.

Tabela 16: Custo anual com chuveiro convencional no empreendimento. (DOS AUTORES)

Custo kWh (R\$)	Potência do chuveiro elétrico (kWh)	Tempo de Banho (Horas)	Total de Banhos Anuais	Custo Anual (R\$)
0,66606	5,0	0,166	10832	6012,30

5.2. Fluxo de caixa

Serão utilizados dois conceitos para a realização da análise de viabilidade econômica do projeto: tempo de retorno conhecido como *payback* em conjunto com a taxa interna de retorno (TIR).

O fluxo de caixa é apresentado de forma gráfica e representa os benefícios e despesas em determinado período de tempo. A Figura 68 mostra uma linha do tempo onde são distribuídas setas para representar as entradas (setas voltadas para cima) e saídas (setas voltadas para baixo).

Como entradas teremos a economia gerada por deixar de utilizar a energia elétrica para o aquecimento de água, sendo no primeiro ano desconsiderado dois meses devido ao tempo para instalação do sistema, e nos anos consecutivos serão levados em consideração os 12 meses de economia reajustados pela inflação. Já como despesas, teremos anualmente o custo com a manutenção do sistema que também sofrerá o reajuste da inflação anualmente.

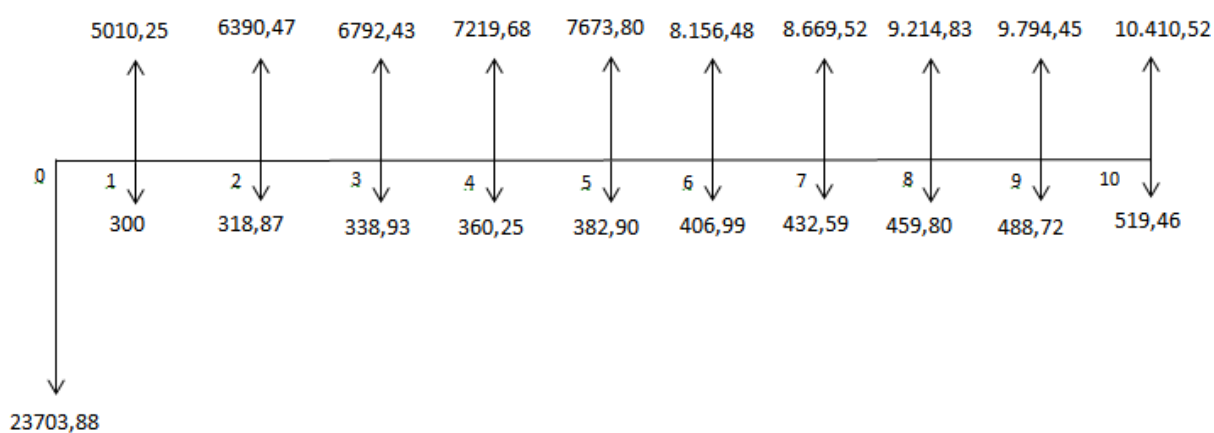


Figura 68: Fluxo de Caixa do projeto. (DOS AUTORES)

5.3. Payback

Considerando que o Valor Presente Líquido (VPL) define o valor presente dos pagamentos efetuados no futuro descontados de certa taxa de juros, menos o custo inicial investido.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) de certo projeto pode ser compreendida como a remuneração do capital nele aplicado. Por definição e a taxa de redução para qual o valor presente líquido (VPL) do fluxo de caixa é nulo. Então para tomada de decisão a taxa calculada deverá ser comparada à taxa que corresponde ao custo de capital da empresa, entretanto o projeto só deverá ser aprovado caso sua taxa interna de retorno supere o custo de capital, significando que deste modo as aplicações da empresa renderão mais que o custo dos recursos aplicados na organização como um todo.

O método usualmente mais utilizado para informar o tempo de retorno é conhecido como *Payback*, que é capaz de apontar o tempo necessário para o capital investido ser revertido em benefícios gerados com o projeto. Desta forma, para que o investimento seja economicamente viável, o tempo de retorno deverá ser menor do que a vida econômica do projeto.

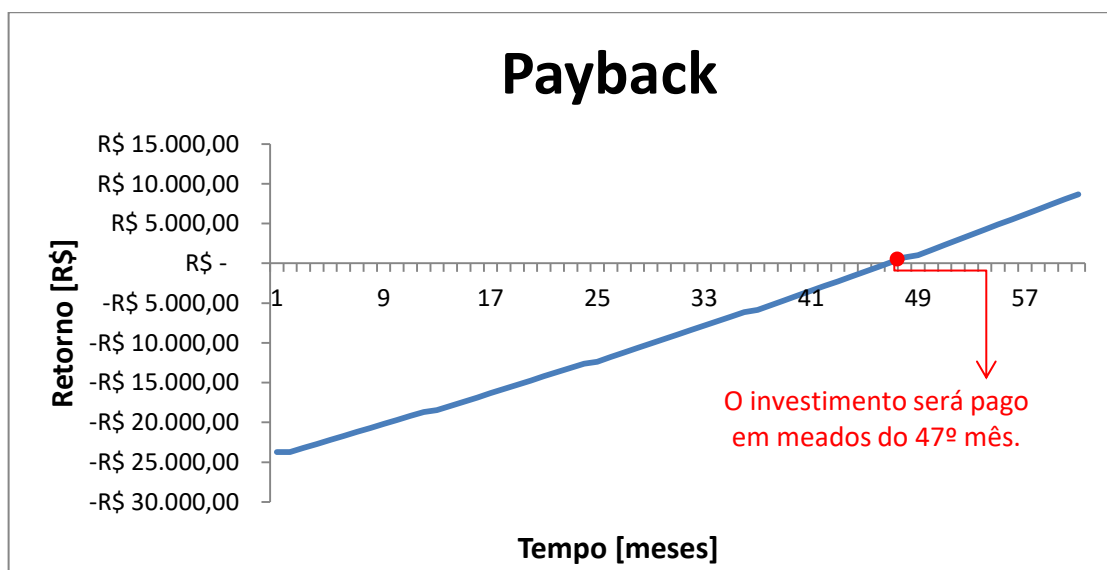


Figura 69: Estimativa de *Payback* do projeto. (DOS AUTORES)

De acordo com a análise da Figura 69 acima, o investimento inicial do projeto terá um retorno em 46 meses.

5.4. Taxa Interna de Retorno - TIR

A tabela 08 mostra uma síntese da análise do investimento, o quanto será poupado a cada ano, em comparação ao sistema que utiliza somente energia elétrica. O cálculo de retorno anual é feito através da subtração do que seria gasto com sistema de aquecimento por chuveiros elétricos, e o que será gasto com o sistema proposto, desconsiderando o possível consumo de energia elétrica pela serpentina e levando em consideração apenas o gasto com manutenções.

Outro parâmetro mostrado na tabela é o custo do equipamento. Este é apresentado no capítulo 4, no tópico de orçamento.

Este sistema prevê um tempo de vida útil de 20 a 25 anos, devido à tecnologia de ponta empregada na construção. Porém, foram analisados os 10 primeiros anos de funcionamento do equipamento para obtenção do TIR.

Para o ajuste dos valores futuros foi considerado um aumento anual de 6,29%, essa correção tem com referência a inflação oficial do ano de 2016 de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Nos cálculos da Taxa Interna de Retorno (TIR) foi utilizada uma taxa média de atratividade (TMA) de 10% que também é mostrado na Tabela 17 abaixo:

Tabela 17: Representação dos valores considerados para obtenção do TIR. (DOS AUTORES)

Período	Receita	Despesa	Lucro	Fator de Ajuste	Valor Presente	PayBack
0		-R\$ 23.703,88	-R\$ 23.703,88			
1	R\$ 5.010,25	R\$ 300,00	R\$ 4.710,25	1,1	R\$ 4.282,05	-R\$ 18.993,63
2	R\$ 6.390,47	R\$ 318,87	R\$ 6.071,60	1,21	R\$ 5.017,85	-R\$ 12.922,03
3	R\$ 6.792,43	R\$ 338,93	R\$ 6.453,51	1,331	R\$ 4.848,62	-R\$ 6.468,52
4	R\$ 7.219,68	R\$ 360,25	R\$ 6.859,43	1,4641	R\$ 4.685,09	R\$ 390,91
5	R\$ 7.673,80	R\$ 382,90	R\$ 7.290,89	1,61051	R\$ 4.527,07	R\$ 7.681,81
6	R\$ 8.156,48	R\$ 406,99	R\$ 7.749,49	1,771561	R\$ 4.374,38	R\$ 15.431,29
7	R\$ 8.669,52	R\$ 432,59	R\$ 8.236,93	1,9487171	R\$ 4.226,85	R\$ 23.668,23
8	R\$ 9.214,83	R\$ 459,80	R\$ 8.755,03	2,14358881	R\$ 4.084,29	R\$ 32.423,26
9	R\$ 9.794,45	R\$ 488,72	R\$ 9.305,73	2,357947691	R\$ 3.946,54	R\$ 41.728,99
10	R\$ 10.410,52	R\$ 519,46	R\$ 9.891,06	2,59374246	R\$ 3.813,43	R\$ 51.620,04
TOTAL					R\$ 43.806,16	
VPL					R\$ 20.102,28	
ILL					1,848058542	
TIR					24,99%	

5.5. Conclusão da análise econômica

Após o levantamento de dados e cálculos realizados observa-se que o sistema proposto analisado é economicamente viável, apresentando uma TIR de 24,99%, para uma TMA de 10% e um tempo de retorno de 3 anos e 11 meses.

6. CONCLUSÃO

Diante das considerações apresentadas, infere-se que, sob o ponto de vista do desenvolvimento sustentável, a tecnologia de âmbito solar térmica pode ser uma alternativa de grande contribuição para o uso eficiente de energia, uma vez que os dados utilizados, o dimensionamento e especificação dos materiais e equipamentos a serem empregados estiverem de acordo com as normas técnicas vigentes e apresentarem valores corretos. Além disso, garantias de proteção e preservação do meio ambiente podem ser citadas como uma vantagem consequente, pois esta se trata de uma fonte de energia limpa, viabilizando programas ligados aos princípios de sustentabilidade ambiental, social e econômica.

A aplicação do projeto tratado no presente trabalho implica em um investimento inicial relativamente alto, sendo este de R\$ 23.703,88, porém os resultados obtidos mostram que a redução mensal na conta de luz do estabelecimento será de R\$ 501,03 com a tarifa cobrada atualmente, representando um abatimento líquido no consumo de energia elétrica de 718,08 KWh/mês.

O *payback* financeiro calculado a partir dos valores de implementação do projeto, avaliando a economia mensal com eletricidade, as correções monetárias pertinentes e os gastos envolvidos na manutenção dos equipamentos, é de 3,9 anos.

Os valores citados acima foram alcançados utilizando as tecnologias atuais no segmento de aproveitamento de energia solar. Contudo, com o avanço de novas pesquisas podem surgir materiais que propiciem um maior rendimento, tal como o melhor aproveitamento da radiação solar, ou tanques com revestimentos que sejam capazes de armazenar a energia térmica contida na água por tempo mais prolongado, o que aumentará os benefícios visados com a aplicação de projetos deste tipo.

Por fim, este trabalho contribuiu para a continuidade dos estudos referentes a energias renováveis, identificando e destacando quais seriam as vantagens tanto econômicas, quanto ambientais envolvidos na instalação de sistemas de termoacumulação de água quente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7198: Projeto e execução de instalações prediais de água quente**. Rio de Janeiro, p. 6. 1993.

_____. **NBR 12269: Instalação de sistemas de aquecimento solar de água em circuito direto - Procedimento**. Rio de Janeiro, p. 16. 2006.

_____. **NBR 15569: Sistema de Aquecimento de Água em Circuito Direto - Projeto e Instalação**. Rio de Janeiro, p. 42. 2008.

ALVES. **Termo-acumuladores com permutador de calor integrado**, 10 de janeiro de 2013. Disponível em: <<https://www.canalizareaquecer.com/esquentadores/termo-acumuladores-com-permutador-de-calor-integrado.html>>. Acesso em 23 de julho de 2017.

BORGNACKE, Claus ; SONNTAG, Richard E. . **Fundamentos da Termodinâmica: Série Van Wylen**. 8. ed. São Paulo: Blucher, 2013. 730 p.

BRAGA, Benedito et al. **Introdução à Engenharia Ambiental: O Desafio do Desenvolvimento Sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 336 p.

DANI. **Capacidades e consumo elétrica dos termoacumuladores elétricos**, 11 de dezembro de 2008. Disponível em: <<https://www.canalizareaquecer.com/esquentadores/capacidades-e-consumicao-electrica-dos-termoacumuladores-electricos.html>>. Acesso em 25 de julho de 2017.

DANI. **Desenho de Instalações**, 9 de dezembro de 2008. Disponível em: <<https://www.canalizareaquecer.com/instalacoes/desenhos-de-instalacoes.html>>. Acesso em 21 de julho de 2017.

DANI. **Dispositivos de segurança nos termoacumuladores**, 21 de julho de 2009. Disponível em: <<https://www.canalizareaquecer.com/esquentadores/dispositivos-de-seguranca-nos-termoacumuladores.html>>. Acesso em 22 de julho de 2017.

DANI. **Esquema de montagem de termoacumuladores**, 16 de fevereiro de 2010. Disponível em: <<https://www.canalizareaquecer.com/esquentadores/esquemas-de-montagem-de-termoacumuladores.html>>. Acesso em 20 de julho de 2017.

DANI. **Termoacumuladores electricos de agua quente e principio de funcionamento**, 11 de dezembro de 2008. Disponível em: <<https://www.canalizareaquecer.com/esquentadores/termoacumulador-electricos-de-agua-quente-e-principio-de-funcionamento.html>>. Acesso em 23 de julho de 2017.

DECA. **Produtos: CHUVEIRO COM TUBO DE PAREDE DECA BALANCE 12**. Disponível em: <<http://deca.com.br/produtos/chuveiro-com-tubo-de-parede-deca-balance-12-cromado-1954cctare>>. Acesso em 26 de setembro de 2017.

HELIOTEK, Bosch Group. **Catálogo: Linha completa de aquecimento para banho e piscina**. 2017.

HIMIN SOLAR. **Aquecedor solar de água de placa plana pressurizada**. Disponível em: <<http://www.himinsolar.com.br/1-5-plate-solar-water-heater.html>>. Acesso em 15 de julho de 2017.

HINRICHS, Roger A.; KLEINBACH, Merlin; REIS, Lineu Belicodos. **Energia e Meio Ambiente**. 5ª. ed. São Paulo: Thomson, 2014. 764 p.

HODGE, B. K. . **Sistemas e Aplicações de Energia Alternativa**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 309 p.

IEPUC - INSTITUTO DE ENERGIA DA PUC-RIO. **Atlas Rio Solar: atlas solarimétrico do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Ed. PUC-Rio, 2016. 64 p.

INCROPERA, Frank P. et al. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014. 694 p.

INMETRO. **PBE- Coletor Solar aplicação Banho e Piscina. Tabelas de Consumo e Eficiência Energética**. Data de atualização: 13/06/2017. 15 p.

IPED. **Conceitos da energia elétrica**. Disponível em: <<https://www.iped.com.br/materias/cotidiano/conceitos-energia-eletrica.html>>. Acesso em 11 de julho de 2017.

LUZ SOLARIS. **O que é Energia Solar**. Disponível em: <<http://luzsolaris.com/index.php/work/o-que-e-energia-solar>>. Acesso em 11 de julho de 2017.

MATOS, Rudmar Serafim. **Apostila de Refrigeração e Climatização**. Universidade Federal do Paraná, 2010.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar: Brazilian Atlas of Solar Energy**. 1. ed. São José dos Campos: INPE, 2006. 60 p.

PORTAL ENERGIA. **O que é a Energia Solar Passiva**. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/energia-solar-passiva/>>. Acesso em 12 de julho de 2017.

SOLAR ENERGIA. **Alta temperatura energia solar térmica**, 2015. Disponível em: <<https://pt.solar-energia.net/solar-termica/temperatura-alta>>. Acesso em 12 de julho de 2017.

TIGRE. **Catálogo de Produtos: Predial**. Abril de 2016. Joinville, SC.

TIGRE. **Catálogo Técnico: Predial Aquatherm®**. Novembro de 2008. Joinville, SC.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno (Org.). **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 515 p.

TUNDISI, Helena da Silva Freire. **Usos de Energia: sistemas, fontes e alternativas: do fogo aos gradientes de temperatura oceânicos**. 15. ed. São Paulo: Atual Editora, 1991. 73 p.

VALOR ECONÔMICO. **Variação da inflação acumulada em 2016**. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/valor-data/tabela/5800/inflacao>>. Acesso em 15 de outubro de 2017.

VASCONCELLOS, Luiz Eduardo Menandro de; LIMBERGER, Marcos Alexandre Couto (Org.). **Energia Solar para aquecimento de água no Brasil: Contribuições da Eletrobras Procel e Parceiros**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2012. 240 p.