FERNANDO LUZ RODRIGUES

**Método de avaliação das condições de implantação de sistema de
aquecimento solar de água em edifícios residenciais verticais**

São Paulo

2020

FERNANDO LUZ RODRIGUES

Método de avaliação das condições de implantação de sistema de aquecimento solar de água em edifícios residenciais verticais

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Ciências

Orientador:

Prof. Dr. Daniel Setrak Sowmy

São Paulo
2020

FERNANDO LUZ RODRIGUES

Método de avaliação das condições de implantação de sistema de aquecimento solar de água em edifícios residenciais verticais

Versão Corrigida

(Versão original encontra-se na unidade que aloja o Programa de Pós-graduação)

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de concentração:
Inovação na Construção Civil

Orientador:
Prof. Dr. Daniel Setrak Sowmy

São Paulo
2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Rodrigues, Fernando Luz

Método de avaliação das condições de implantação de sistema de aquecimento solar de água em edifícios residenciais verticais / F. L. Rodrigues -- versão corr. -- São Paulo, 2020.
122 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Sistema de Aquecimento Solar de Água 2.Sistemas Prediais 3.Água Quente I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

RODRIGUES, F. L. Método de avaliação das condições de implantação de sistema de aquecimento solar de água em edifícios residenciais verticais.

São Paulo. 2020. 122p. Mestrado Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020

Dedico este trabalho à minha família e amigos que sempre prestaram o suporte necessário e acreditaram no meu potencial intelectual para esta e todas as outras conquistas pessoais.
Em especial ao meu pai, Henrique, minha mãe, Sonia e meu irmão Pedro Henrique.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Daniel Setrak Sowmy pela condução, ensinamentos e conselhos durante toda essa jornada. Foi a pedra fundamental para a elaboração de todo este trabalho.

Aos professores da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo que contribuíram com a minha formação acadêmica e científica tanto na graduação como no mestrado profissional.

À Plurincorp Empreendimento Imobiliários, empresa onde entrei como estagiário e dedico minha vida profissional até hoje. Agradeço pela compreensão e pelo tempo cedido para que fosse possível a realização do mestrado profissional em paralelo aos compromissos profissionais da construtora. Em especial ao Sr. Massinet, Sr. Lucas e Eng. Marcos Lorette pelo apoio, ensinamentos e amizade durante todos esses anos na Plurincorp.

À minha esposa Paula pelo apoio incondicional e todos os momentos que passamos juntos, mas principalmente pelos momentos que não passamos juntos para que eu tivesse tempo para me dedicar a conclusão desta dissertação.

Todos os meus amigos que me apoiaram durante esta jornada, principalmente aos amigos do Bolão.

À minha madrinha Simone que aceitou o convite de revisar meu texto, mesmo não sendo sua área de atuação, fez apontamentos que colaborou com o melhor entendimento do texto para os leitores que venham a apreciar esta dissertação.

A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.
(Arthur Schopenhauer)

RESUMO

Fontes de energias alternativas menos poluentes e mais baratas são buscadas mundialmente para diminuir os impactos ambientais globais. Uma fonte de energia que atende a esses requisitos é a energia solar, que pode ser utilizada de forma direta para aquecimento de água para o consumo. Essa fonte energética já é utilizada em diversos países, inclusive no Brasil, país que tem uma grande irradiação solar, tornando-o um dos países com maiores potenciais para uso de energia solar do mundo. Apesar de todo esse potencial, a utilização de sistemas de aquecimento solar, principalmente em edifícios residenciais verticais, não é muito explorada no país. Visando incentivar o uso desses sistemas em edifícios residenciais verticais, essa dissertação tem como objetivo desenvolver um método de análise da viabilidade de implantação de um sistema de aquecimento solar de água, mudanças necessárias e custos de instalação, operação e manutenção desse sistema. Para isso, são analisados os diversos tipos de sistemas prediais de água quente e seus elementos. Foram também analisados o sistema de aquecimento solar de água, seus componentes e funcionamento. Com o método desenvolvido em uma verificação de sete etapas que visa facilitar a implantação nas obras e reformas de edifícios para adequar sua estrutura a receber o sistema de aquecimento solar de água, foi aplicado o método proposto em um estudo de caso de um projeto de edifício residencial real. Por fim, foi possível verificar que a implantação de um sistema de aquecimento solar central com apoio a gás é viável tecnicamente e economicamente para atender a demanda do objeto do estudo de caso.

Palavras-Chave: Sistema de Aquecimento Solar de Água. Sistemas Prediais. Água quente.

ABSTRACT

Less polluting and cheaper alternative energy sources are sought after worldwide to decrease global environmental impacts. A source of energy that meets these requirements is solar energy, which can be used directly to heat water for consumption. This energy source is already used in several countries, including Brazil, which has a large solar radiation, making it one of the largest potentials for solar energy use in the world. Despite all this potential, the use of solar heating systems, especially in high-rise residential buildings, is not much explored in the country. Aiming to encourage the use of these systems in high-rise residential buildings, this dissertation aims to develop a method of analysis of the feasibility of implementing a solar water heating system, necessary changes and costs of installation, operation and maintenance of the system. To reach this, many types of hot water building systems and their elements are analyzed. The solar water heating system, its components and its operation are also analyzed. With the method developed in a seven-step verification that aims to facilitate the implementation in the buildings' construction and renovations of buildings that intend to adapt their structure to receive the solar water heating system, the proposed method was applied in a case study in a real project of high-rise residential building. Finally, it was possible to verify that the implementation of a gas-supported central solar heating system is technically and economically viable to meet the demand of the case study object.

Keywords: Solar Water Heating System. Building systems. Hot water.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Participação dos equipamentos no consumo final de energia elétrica no Brasil e regiões.....	20
Figura 2 - Tempo médio do banho por pessoa utilizando chuveiro elétrico.	21
Figura 3 - Capacidade total de coletores solares envidraçados em operação no fim de 2016.....	23
Figura 4 - Capacidade total de coletores solares envidraçados em operação no fim de 2016 por ano por mil habitantes	24
Figura 5 - Fonte utilizada para aquecimento de água para o banho – Brasil	33
Figura 6 - Fonte utilizada para aquecimento de água para o banho – Sudeste .	33
Figura 7 - Funcionamento simplificado de um chuveiro elétrico.....	34
Figura 8 - Esquema de funcionamento aquecedor a gás de passagem	36
Figura 9 - Aquecedor a gás de passagem aberto.	37
Figura 10 - Esquema de um circuito fechado com linha de retorno	38
Figura 11 - Critérios de classificação de aquecedores a gás instantâneos.....	39
Figura 12 - Mercado de aquecedores de água divididos por combustível e tecnologia, 2006.....	40
Figura 13 - Esquema de Aquecedor de acumulação	41
Figura 14 - Esquema com descrição dos componentes de aquecedor de acumulação	42
Figura 15 - Sistema conjugado com reservatório vertical e três aquecedores a gás de passagem.....	43
Figura 16 - Duração da exposição à água quente necessária para causar escaldões de espessura total da pele adulta a várias temperaturas da água	49
Figura 17 - Coletor solar plano fechado.	50
Figura 18 - Válvula Misturadora Termostática.....	53
Figura 19 - Circuito hidráulico passivo - Termossifão.....	54
Figura 20 - Circuito hidráulico passivo - Termossifão.....	56
Figura 21 - Circuito hidráulico ativo - Circulação forçada.	57
Figura 22 - Coletor solar plano sobre estrutura de alumínio instalada em sobre telha de fibrocimento.	58
Figura 23 - Energia total anual com variação da inclinação do coletor solar.....	60

Figura 24 - Distância entre as fileiras de coletores para facilitar circulação e evitar sombreamento.....	61
Figura 25 - Instalação de coletores solares em paralelo	62
Figura 26 - Fator de simultaneidade do consumo de água quente	65
Figura 27 - Angulação das placas	71
Figura 28 - Carta F de um sistema usando um fluido líquido	75
Figura 29 - Fluxograma do método de análise de viabilidade de implantação ...	78
Figura 30 - Relação entre renda e consumo de água	79
Figura 31 - Planta da transição com a indicação do norte geográfico.....	82
Figura 32 - Laje impermeabilizada na transição do 13º pavimento	83
Figura 33 - Laje impermeabilizada na cobertura do edifício	83
Figura 34 - Vista shaft do 2º ao 12º pavimento tipo.....	84
Figura 35 - Irradiação solar diária média mensal	87
Figura 36 - Pavimento tipo do 1º ao 12º andar.....	91
Figura 37 - Pavimento tipo do 13º ao 16º andar.....	93
Figura 38 - Esquema do sistema central coletivo de aquecimento de água	94
Figura 39 - Fator de simultaneidade do consumo de água quente do estudo de caso.....	96
Figura 40 - Distância entre coletores.....	100
Figura 41 - Laje impermeabilizada, teto do 16º pavimento.....	100
Figura 42 - Definição de local de instalação dos coletores solares	101
Figura 43 - Disposição dos coletores e reservatórios.....	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Capacidade Instalada no Brasil.....	20
Tabela 2 - Consumo de energia elétrica para chuveiros elétricos.....	35
Tabela 3 - Fator de armazenamento em relação ao volume no horário de pico.	66
Tabela 4 - Intervalo dos parâmetros para o uso do método da "Carta F"	74
Tabela 5 - Dados climatológicos para São Paulo.....	86
Tabela 6 - Volume de armazenamento e potência útil	96
Tabela 7 - Potência e perdas do sistema	98
Tabela 8 - Parâmetros adotados e calculas para determinar ângulo e distâncias entre coletores.....	99
Tabela 9 - Parâmetros para cálculo de X e Y.....	104
Tabela 10 - Dados para cálculo de X e Y	104
Tabela 11 - Parâmetros X, Y e fator f mensal	105
Tabela 12 - Orçamento coluna de distribuição	107
Tabela 13 - Orçamento ramais de distribuição.....	108
Tabela 14 - Orçamento sistema de apoio a gás.....	110
Tabela 15 - Orçamento sistema de aquecimento solar	111
Tabela 16 - Custos de manutenção e limpeza do sistema de aquecimento central	112
Tabela 17 - Diferença de custos entre o Sistema de Aquecimento Solar com suporte a gás e Sistema Central Privado a gás, com aquecedor de passagem do SCPG a R\$800,00.....	113
Tabela 18 - Diferença de custos entre o Sistema de Aquecimento Solar com suporte a gás e Sistema Central Privado a gás, com aquecedor de passagem do SCPG a R\$1500,00.....	114

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanço Energético Nacional
CEF	Caixa Econômica Federal
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
COMGÁS	Companhia de Gás de São Paulo
CONPET	Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
CPVC	Policloreto de Vinila Clorado
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
DN	Diâmetro Nominal
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
EUA	Estados Unidos da América
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
HIS	Habitação de Interesse Social
HMP	Habitação de Mercado Popular
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	Agência Internacional de Energia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
NBR	Norma Brasileira
MCMV	Minha Casa Minha Vida
PBQP-H	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat
PEX	Polietileno Reticulado Monocamada
PPR	Polipropileno Copolímero Random
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PVC	Policloreto de Vinila
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
USP	Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

P_u	Potência útil (kW)
q	Vazão do chuveiro (litros/h)
c	Calor específico da água (1,00 kcal/kg°C)
T_{consumo}	Temperatura de consumo da água (°C)
$T_{\text{água fria}}$	Temperatura da água fria (°C)
$V_{\text{diário}}$ (litros)	Volume diário consumido de água quente armazenada
V_{pico}	Volume no horário de pico (litros)
V_{consumo}	Volume total de água quente consumido diariamente na edificação (litros/dia)
FS	Fator de simultaneidade
F_{armaz}	Fator de armazenamento
V_{recup}	Volume necessário para recuperação do sistema na hora mais crítica (litros/h)
Q	Potência útil do(s) aquecedor(es) (kW)
T_{armaz}	Temperatura de armazenamento da água (°C)
$D_{\text{mín}}$	Diâmetro interno mínimo efetivo da tubulação (m)
Q_p	Vazão de projeto (m³/s)
$V_{\text{máx}}$	Limite superior admitido para a velocidade média (m/s)
q	Fluxo de calor por condução (kcal/h)
k	Condutividade térmica do material (kcal/h.m.°C)
A	Área da seção, perpendicular à direção do fluxo (m²)
L	Espessura da parede (m)
ΔT	Diferença de temperatura
β	Inclinação do coletor em relação a vertical
Φ	Latitude local
N	Número de dias transcorridos desde primeiro de janeiro
Δ	Declinação solar
ω	Ângulo horário ao meio dia
α_s	Ângulo de incidência dos raios solares
$(\tau\alpha)_n$	Produto de transmitância e absorção diário;

$F'_R A_c$	Produto de fator de eficiência do trocador de calor e área do coletor
U_L	Coeficiente de perda global do coletor (W/m ² °C)
$(UA)_h$	Produto horário de coeficiente de transferência de calor e área
A_c	Área coletora (m ²)
F'_R/F_R	Fator de eficiência do trocador de calor do coletor
Δt	Número total de segundos no mês
T_a	Temperatura ambiente média mensal (°C)
T_{ref}	Temperatura de referência derivada empiricamente (100°C)
L	Calor acumulado mensal total para aquecimento de ambientes e água quente (J)
H_T	Radiação diária média incidente na superfície do coletor por unidade de área (J/m ²)
N	Dias no mês
$(\tau\alpha)$	Produto de absorção de transmitância média mensal

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Sistemas de aquecimento.....	22
1.2 Aquecimento solar de água no mundo	23
1.3 Aquecimento solar de água no Brasil	26
1.4 Dificuldades e desafios	27
2 OBJETIVOS	29
2.1 Objetivo geral.....	29
2.2 Objetivos específicos	29
3 METODOLOGIA.....	30
4 SISTEMA PREDIAL DE ÁGUA QUENTE	32
4.1 Sistemas de aquecimento de água no Brasil.....	32
4.1.1 Sistema Individual.....	33
4.1.2 Sistema Central Privado de Passagem	35
4.1.3 Sistema Central Privado de Acumulação.....	40
4.1.4 Sistema Central Coletivo	44
4.1.5 Sistema de Aquecimento Solar.....	45
4.1.6 Elementos dos sistemas	46
4.1.7 Medição individualizada.....	47
4.1.8 Qualidade e temperatura da água	48
4.2 Sistema de Aquecimento Solar de Água	49
4.2.1 Componentes	50
4.2.1.1 Coletor Solar Plano Fechado.....	50
4.2.1.2 Reservatório Térmico.....	51
4.2.1.3 Acessórios e interligações hidráulicas	52
4.2.2 Funcionamento do Sistema	53

4.2.2.1 Termossifão	53
4.2.2.2 Circulação forçada	56
4.2.3 Instalação dos Coletores Solares	57
5 PROJETO E DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR	63
5.1 Dimensionamento do Sistema de Aquecimento de Apoio	63
5.2 Viabilidade para instalação do sistema de aquecimento solar	67
5.3 Dimensionamento da área coletora	70
5.4 Dimensionamento do sistema de aquecimento solar	72
5.5 Métodos de projeto	72
5.6 Metodologia da “Carta F”	73
6 MÉTODO DE ANÁLISE DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO	78
6.1 Identificar localização do edifício e condições climáticas	78
6.2 Identificar as características da edificação e sua população	79
6.3 Avaliar viabilidade técnica para a instalação do sistema	79
6.4 Definir, dimensionar e projetar o sistema de aquecimento de apoio	80
6.5 Projetar e dimensionar o sistema de aquecimento solar	80
6.6 Analisar custos de instalação, operação e manutenção	81
6.7 Analisar viabilidade econômica da implantação do sistema	81
7 ESTUDO DE CASO	82
7.1 Análise de viabilidade	85
7.1.1 Localização do edifício e condições climáticas	85
7.1.2 Características da edificação e sua população	87
7.1.3 Avaliação da viabilidade técnica para a instalação do sistema	88
7.1.4 Definição, dimensionamento e projeto do sistema de aquecimento de apoio	89
7.1.5 Projeto e dimensionamento do sistema de aquecimento solar	98
7.1.6 Análise dos custos de instalação, operação e manutenção	106

7.1.7 Análise da viabilidade econômica da implantação do sistema	113
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	115
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é mundialmente conhecido pelo uso de energia limpa e renovável, com sua maior produção vindo das hidroelétricas (mais de 65% da produção nacional, conforme dados apresentados na Tabela 1 e a segunda maior geradora de energia elétrica produzida em hidroelétricas, atrás apenas da China). Entretanto, nos últimos anos, com o baixo nível das represas, falta de planejamento, investimento no setor e fatores climáticos, foi adotado pela Agência Nacional de Energia Elétrica, a ANEEL, em 1º de janeiro de 2015 o Sistema das Bandeiras Tarifárias, o qual busca mostrar para o usuário final o motivo do aumento da conta de energia elétrica, em decorrência do uso das termoeletricas, que produzem uma energia mais cara que as hidroelétricas, demandando, assim, maiores investimentos e encarecendo os custos de produção.

As bandeiras tarifárias sinalizam aos consumidores o uso de termoeletricas e visam justificar o aumento mensal e pontual nas contas. A Bandeira Verde indica que as hidroelétricas operam normalmente, assim, não há acréscimo na conta. A Bandeira Amarela indica que as termoeletricas estão ativadas, mas com baixa demanda, encarecendo a conta em R\$1,00 a cada 100kWh. Por fim, a Bandeira Vermelha indica que as termoeletricas estão ativadas e com alta demanda, o que acresce o valor da conta de R\$3,00 a R\$5,00 a cada 100kWh. Apesar de conceitualmente produzir uma energia limpa e renovável, a utilização de usinas hidroelétricas é questionada no mundo todo devido ao impacto socioambiental causado por alagamentos e destruição de comunidades ribeirinhas, desmatamentos e mudanças drásticas nos ecossistemas e biodiversidade local (PORTO; FINAMORE; FERREIRA; 2013). Assim, a busca por alternativas na geração de energia mostra-se um problema atual e de difícil resolução a curto prazo, uma vez que ainda há pouco investimento em alternativas limpas para a produção de energia, principalmente no Brasil, onde a capacidade instalada de geração elétrica com base solar, por exemplo, não chega a 0,015% da capacidade instalada total, de acordo com os dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2016, fornecido pela Ministério de Minas e Energia, conforme Tabela 1, que mostra capacidade instalada de geração elétrica no Brasil.

Tabela 1 - Capacidade Instalada no Brasil.

Capacidade instalada de geração elétrica no Brasil (MW)

Brazil electricity generation installed capacity (MW)

	2011	2012	2013	2014	2015	Δ% (2015/2014)	Part. % (2015)	
Total	117.136	120.974	126.743	133.913	140.272	4,7	100	Total
Usinas Hidrelétricas	78.347	79.956	81.132	84.095	86.002	2,3	61,3	Hydropower Plants
Usinas Termelétricas	31.243	32.778	36.528	37.827	39.393	4,1	28,1	Thermoelectric Plants
PCH	3.896	4.101	4.620	4.790	4.840	1,0	3,5	SHP
CGH	216	236	266	308	395	28,3	0,3	CHG
Usinas Nucleares	2.007	2.007	1.990	1.990	1.990	0,0	1,4	Nuclear Power Plants
Usinas Eólicas	1.426	1.894	2.202	4.888	7.630	56,1	5,4	Wind Power Plants
Solar	1	2	5	15	21	40,0	0,0	Solar Power Plants

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) BIG acessado em 04/01/2016 Potência Fiscalizada; BEN 2016; Elaboração: EPE

Nota: Inclui autoprodução clássica; Considera-se a parte nacional de Itaipu (6.300 MW até o ano de 2006, 7.000 MW a partir de 2007)

PCH: Pequena Central Hidrelétrica; CGH: Central Geradora Hidrelétrica

Nuclear: Queda de 17 MW observada em 2013, verificar Aneel - Resolução Autorizativa nº 3.334, de 14 de fevereiro de 2012 que estabeleceram a capacidade instalada da Usina Termonuclear Almirante Álvaro Alberto – Unidade I (Angra I).

Nas Hidrelétricas não incluem-se as do tipo "pumped storages"

Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016 ano base 2015

Os dados de 2016 do Balanço Energético Nacional – BEN mostram que a estimativa da população brasileira, de acordo com projeções do IBGE, é de cerca de 205.266.000 habitantes, com um consumo na rede de 465.203GWh, isso equivale a um consumo per capita de 2.266 kWh/hab. Em termos residenciais, o consumo médio é de 194kWh/mês.

A pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso – ano base 2005 (PROCEL 2007) mostra que o chuveiro elétrico é o equipamento que mais consome energia elétrica nas residências brasileiras, responsável por 24% do consumo residencial, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Participação dos equipamentos no consumo final de energia elétrica no Brasil e regiões

Fonte: PROCEL (2007)

Esse número se torna mais representativo quando analisado conforme tempo de uso do equipamento. A geladeira, o segundo equipamento que mais consome energia elétrica nas residências, geralmente fica ligada ininterruptamente durante o dia todo, todos os dias do ano, enquanto o chuveiro elétrico é ligado em um curto período de tempo, como mostra dados da pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso – ano base 2005 (PROCEL 2007), na qual fica evidenciado que a maior parte das pessoas gasta menos de 10 minutos por banho, conforme Figura 2.

Figura 2 - Tempo médio do banho por pessoa utilizando chuveiro elétrico.

Tempo médio do banho por pessoa utilizando chuveiro elétrico

Fonte: PROCEL (2007)

Em São Paulo, as novas edificações e os edifícios que passam por reformas são obrigados a instalarem sistema de gás para os apartamentos, uma vez que não é mais permitido o armazenamento de botijões de gás dentro das unidades autônomas residenciais desde o Decreto nº 24.714, de 07 de outubro de 1987, quando se fez a obrigatoriedade de armazenar o gás combustível fora da edificação. Com isso e, principalmente, com o aumento das redes de gás natural, a instalação de aquecedores de água a gás nos apartamentos recém lançados vem crescendo significativamente.

A alternativa de aquecimento de água a gás apresenta alguns problemas como, por exemplo a instalação de um ponto de alimentação de gás na área de

serviço, onde geralmente é instalado o aquecedor de passagem, cujo aparelho ocupa um espaço considerável, além de deixar o ambiente menos atraente e a impossibilidade de esconder esse aparelho para permitir a circulação de ar e evitar acúmulo de gás em caso de vazamento.

Outros problemas são a necessidade de instalação de um sistema de exaustão para remover os gases gerados na combustão do sistema de dentro do apartamento e a responsabilidade da instalação do sistema de aquecimento a gás para o usuário, que além de oneroso, se for feita de forma errada e sem ajuda de um profissional, pode ser perigoso.

Como alternativa complementar energética renovável a esses sistemas de aquecimento de água, há o aquecimento solar, viável e sustentável, pois, utiliza o sol como fonte de energia para aquecer a água de forma limpa e gratuita.

1.1 Sistemas de aquecimento

Os sistemas prediais de água quente podem ser classificados entre: Individual, o qual um único ponto é aquecido no local, sem necessidade de rede de água quentes; Central Privado, constituído por um gerador de água quente responsável por atender todos os pontos de uma mesma unidade e Central Coletivo no qual um gerador atende todos os pontos de mais de uma unidade habitacional (ILHA; GONÇALVES; KAVASSAKI,1994).

Quanto ao seu princípio de funcionamento, podem ser classificados como aquecedores de passagem, também conhecidos como aquecedores instantâneos ou aquecedores de acumulação.

Como complemento para os sistemas de aquecimento de água, os aquecedores solares podem ser classificados de acordo com seus coletores entre: a vácuo, mais eficientes, mas demandam maior manutenção e cuidados; coletores abertos, compostos de tubos de plástico pretos, são mais simples e mais baratos, entretanto, por não atingirem grandes temperaturas, não podem ser usados para aquecimento residencial, seu uso é mais indicado para aquecimento de piscinas; ou ainda, aquecedores solares do tipo fechado, os mais usados no Brasil para fins residenciais.

1.2 Aquecimento solar de água no mundo

Dados da Agência Internacional de Energia (IEA) mostram que o Brasil, no final de 2016, ocupava a quinta colocação dos países com maior capacidade instalada de coletores solares envidraçados para aquecimento de água em operação, conforme Figura 3.

Figura 3 - Capacidade total de coletores solares envidraçados em operação no fim de 2016

Fonte: Adaptado de Weiss e Spork-Dur (2018)

Em números absolutos até pode ser considerado uma boa posição no ranqueamento global, mas pensando em termos de proporção per capita, a Figura 4 mostra que o Brasil ocupa apenas a trigésima posição no ranqueamento global, muito aquém do esperado para um país com grande incidência de energia solar.

Figura 4 - Capacidade total de coletores solares envidraçados em operação no fim de 2016 por ano por mil habitantes

Fonte: Adaptado de Weiss e Spork-Dur (2018)

A China, país com a maior capacidade instalada, busca encontrar soluções econômicas para aumentar ainda mais a eficiência no uso do sistema de aquecimento solar, principalmente em grandes edifícios residenciais.

Shi et al., (2013) estudaram como compatibilizar a implantação do sistema de aquecimento solar de água, já bastante utilizado em edifícios de pequeno porte, em edifícios maiores, onde há uma grande demanda, mas pouca área coletora no topo do prédio em relação ao número de ocupantes. Algumas discussões importantes foram apontadas no estudo, tais como as características arquitetônicas do edifício, sua altura e distância em relação às outras edificações vizinhas, a diferença de temperatura da água aquecida pelo sistema, dependendo do andar e a necessidade de um sistema complementar de apoio, porém um bom planejamento, soluções inteligentes e sustentáveis e apoio do governo através de incentivos se mostra o caminho para contornar as dificuldades.

Uma alternativa para solucionar o problema da pouca área no topo dos edifícios é a instalação de coletores nas varandas dos apartamentos (LI; DAI; WANG, 2015), que mostrou uma eficiência média de 40% ao longo do ano, sendo mais eficiente nos meses mais quentes de verão e menos eficiente nos meses mais frios no inverno. Outra constatação interessante desta pesquisa foi que as famílias que usam água durante os períodos mais esparsos do dia têm

uma eficiência maior, do sistema de aquecimento solar de água, às famílias que utilizam a água quente durante a noite ou início da manhã, isso devido às perdas do sistema durante o período no qual não há incidência solar.

He (2016) realizou outro estudo sobre grandes edifícios residenciais chineses, de até 20 pavimentos, projetados com uma única rede de coletores centrais, mas com reservatórios individuais para cada unidade autônoma, reduzindo custos e perdas do sistema, facilitando operação e manutenção com alta confiabilidade e segurança. Dentro de cada residência, foi instalado um reservatório de 60 litros nos apartamentos com dois dormitórios e 80 litros nos apartamentos de três dormitórios.

Ainda na Ásia, mas na Coreia do Sul, Yoo (2015) avaliou um condomínio com 14 edifícios residenciais de 11 a 15 andares com 1179 apartamentos no total. O condomínio já estava em operação há três anos e tem um sistema integrado de aquecimento solar, ou seja, um mesmo sistema atende de quatro a cinco torres, com um reservatório central para esses edifícios e coletores no topo de todas as torres, com diferentes orientações. Apesar da complexidade do sistema e de alguns problemas técnicos encontrados na avaliação, como por exemplo, o método de dimensionamento de demanda de água quente que se mostrou não adequado para o condomínio e problemas de instalação e manutenção, o tempo de retorno do investimento foi de sete para doze anos, levando em consideração a vida útil do condomínio e as dificuldades de projeto, se mostrou um tempo de retorno satisfatório que justifica sua adoção.

Nos Estados Unidos, foi avaliado sistema de aquecimento solar para residências unifamiliares comparando o uso de coletores solares planos e de tubo à vácuo e complemento a gás e elétrico em três diferentes regiões do país utilizando métodos de simulação computacional (HANG; QU; ZHAO, 2012). Uma análise de ciclo de vida e seu custo foram avaliados por essa pesquisa, concluindo que na perspectiva de investimento por energia gerada, os coletores planos têm um melhor desempenho que os tubos a vácuo. Além disso, concluiu-se também que o sistema de aquecimento solar com o uso de coletores planos e energia auxiliar a gás, gera um retorno energético e ambiental em apenas seis meses, considerando também os custos financeiros, os investimentos têm um retorno entre um período de quatro a treze anos.

Na Europa, continente bastante urbanizado e com menores perspectivas de novas construções nas cidades, um estudo mostra diversas alternativas de adoção de sistemas de aquecimento solar de água em edifícios existentes pela motivação da redução do uso de combustíveis fósseis através de reforma em edifícios antigos, entre eles, um do ano de 1900. (VOSS, 2000). Se um edifício do final do século XIX pode receber modificações para a adoção de tecnologias solares, um edifício recém construído ou em fase de execução tem grandes chances de atender à essas mudanças.

Pesquisa realizada no Reino Unido, comparando diversos tipos de aquecedores mostrou que os melhores resultados, tanto financeiramente quanto na redução de emissão de carbono são esperados quando há o complemento de aquecimento solar ao sistema de aquecimento instalado, seja ele elétrico ou a gás (BOAIT et al., 2012).

Na Suíça, país conhecido pelo clima frio, um estudo mostrou ser possível o uso de aquecimento solar para atender a 100% da demanda de água quente de um edifício, porém, por necessitar de uma grande área coletora e volume de armazenamento, o sistema demanda muitos recursos naturais no seu processo de produção, o que o torna caro e não eficiente em termos de uso de recursos naturais, não sendo essa a solução mais indicada para a região (SIMONS; FIRTH, 2011).

1.3 Aquecimento solar de água no Brasil

Com uma irradiação solar de 2000kWh/m² na maior parte do país, o Brasil tem um grandioso potencial para aproveitamento energético e térmico provido pelo sol (MARTINS; ABREU; PEREIRA, 2012)

Políticas públicas de incentivo de instalação de coletores solares em casas de baixa renda como, por exemplo o programa Minha Casa Minha Vida do governo federal, já proporcionaram para mais de 300.000 famílias o benefício da instalação e uso de sistema de aquecimento solar de água (GIGLIO; LAMBERTS, 2016). Um dos problemas encontrados nesses casos é a falta de conhecimento por parte dos usuários que não sabem fazer o correto uso do sistema e sua devida manutenção, outras vezes por parte das construtoras que

não instalam o sistema de aquecimento solar de maneira eficiente, não gerando todos os benefícios potenciais para o usuário final.

Desse total de residências beneficiadas por incentivos governamentais, a grande maioria são casas unifamiliares e os resultados das pesquisas sobre o sistema de aquecimento solar nessas habitações não podem ser extrapolados para edifícios residenciais com muitos andares, como os do escopo desse trabalho por diversas razões, entre elas, a diferença entre as áreas coletoras em relação ao número de usuários, tamanho dos reservatórios, distância das tubulações, entre outros.

Para grandes edifícios, a integração entre o sistema de aquecimento solar de água é mais complexa e demanda maiores esforços por parte da construtora, responsável pela sua instalação. Por isso, muitas empresas evitam a instalação desse sistema e só a fazem quando há imposição de leis municipais ou federais que obrigam sua instalação. Um estudo com edifícios maiores, porém não residencial e sim um hotel de cinco estrelas em São Paulo, mostra que é possível atender até 65% da demanda de água quente, 5% a mais que o necessário para obter o certificado PROCEL, gerando também economia para o hotel na redução dos custos com energia para o aquecimento de água (COLMENAR-SANTOS, et al., 2014). Vale ressaltar que, assim como não se deve comparar residências unifamiliares com edifícios residenciais altos, também não se deve comparar esses mesmos edifícios com um hotel cinco estrelas, pois possuem padrões de consumo diferentes, porém o estudo mostra que é possível instalar um sistema de aquecimento solar de água no Brasil em edifícios altos e este modelo pode ser adaptado para edifícios residenciais.

1.4 Dificuldades e desafios

A adequação da infraestrutura já projetada ou até mesmo construída e a alteração do sistema convencional para o sistema de aquecimento solar de água é uma das primeiras dificuldades encontradas na implantação do sistema de aquecimento solar. Para isso, deve-se analisar a área de projeção da cobertura, capacidade estrutural para instalação de coletores e reservatórios e possibilidades de reformas e novas instalações para atendimento das demandas dos usuários finais.

Outra dificuldade na instalação de rede de água quente em edifícios residenciais é o custo de instalação e infraestrutura relacionados na etapa da obra. Este custo em fase de obra é de responsabilidade da construtora, que tem dificuldade em repassar as despesas dessa instalação para seu consumidor, que muitas vezes não enxerga no ato da compra do imóvel essa facilidade e benefício e não está disposto a pagar a mais por esse sistema que resulta em economia durante todo o ciclo de vida do empreendimento.

Encontrar uma maneira de cobrança justa, não beneficiando os apartamentos mais próximos dos reservatórios de água aquecida por meio solar, tão pouco os usuários que usem primeiramente dessa água, deixando para os outros usuários, que utilizariam de água quente em um período posterior, apenas água fria a ser aquecida por outro método oneroso, como elétrico ou a gás, é mais um desafio ao sistema de aquecimento solar.

A possibilidade de contaminação do sistema deve ser considerada e evitada. O cuidado com a preservação, conservação e qualidade do sistema e da água no seu ponto de consumo final devem ser atendidos obrigatoriamente na utilização desse sistema. Para isso, a manutenção e limpeza periódica do sistemas e componentes, bem como verificações nos ramais e prumadas e testes de qualidade da água são essenciais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é desenvolver um método voltado para projetistas, construtores e gestores prediais para a avaliação das condições de implantação de um sistema de aquecimento solar de água em edifícios residenciais verticais e analisar através de um estudo de caso as mudanças necessárias em suas estruturas e sistemas prediais, os impactos na execução da obra, custos e viabilidade técnica e econômica.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos propostos nesse trabalho são:

- Caracterizar os elementos e a operação do sistema de aquecimento solar, desde a escolha dos componentes e instalação até sua manutenção periódica;
- Desenvolver um método segmentado em etapas para aplicação prática;
- Apresentar o potencial da solução, com o uso de um empreendimento real e seu estudo de caso.
- Avaliar benefícios e dificuldades trazidos com a adoção do uso de aquecedores solares em edifícios residenciais e sugerir alternativas para melhoria do sistema.

3 METODOLOGIA

A metodologia proposta para o trabalho se dá através de uma revisão bibliográfica para fundamentar os conceitos necessários para a elaboração desta dissertação, como conceitos de radiação solar, sistemas prediais de água fria e água quente, aquecedores de água e aquecedores solares planos.

Com os conceitos alicerçados e estruturados, foi realizada uma breve análise da maneira pela qual o assunto vem sendo abordado em diversos países do mundo e como essas pesquisas podem agregar conhecimento para esse estudo e sugestões do que pode ser feito em São Paulo, onde está inserido o objeto de estudo.

Será descrito as diferentes classificações dos sistemas de aquecimento de água mais comuns do Brasil e como o aquecimento solar de água pode ser implantado em conjunto com esses sistemas.

Com um maior foco nos sistemas de coletores planos, os sistemas de aquecimento solar serão apresentados e comparados entre si para pontuar diferenças, vantagens e desvantagens de cada sistema

Os componentes do sistema de aquecimento solar terão seu funcionamento descritos, assim como os cuidados e precauções necessárias para correta operação e manutenção.

Como roteiro para o dimensionamento adequado dos sistemas, os conceitos utilizados como base são de Duffie e Beckman (2013), que além de apresentar os conceitos básicos da energia solar e suas aplicações em seu livro, demonstram modelo de dimensionamento utilizado no estudo de caso pelo método “Carta F”.

Normas, manuais e leis também balizarão as diretrizes de projeto, tais como as normas de Instalações prediais de água fria - NBR – 5626/98, Instalações prediais de água quente - NBR – 7198/93, Reservatórios térmicos para líquidos destinados a sistemas de energia solar – NBR – 10185/13, Sistemas solares térmicos e seus componentes – NBR – 15747/09, Instalação de sistemas de aquecimento solar de água em circuitos direto – NBR – 15569/08, bem como a lei nº 14.459 de 3 de julho de 2007 que obriga as novas edificações de serem providas de instalações destinadas a receberem sistema

de aquecimento de água por meio do aproveitamento da energia solar no município de São Paulo.

Um método de análise da viabilidade de implantação será desenvolvido com a finalidade de facilitar as verificações necessárias para a instalação do sistema, bem como seu dimensionamento e projeto. O método será segmentado em etapas, servindo como um roteiro a ser seguido de maneira prática e sequencial.

Um estudo de caso exemplificará a utilização do método para mostrar sua eficácia, nesse estudo de caso será usado como base um projeto real, já aprovado pela prefeitura municipal da cidade de São Paulo, com previsão de início de obra para primeiro semestre de 2020, sendo o objeto de estudo composto por um empreendimento de torre única, com 16 pavimentos tipos mais um subsolo e outro sobressolo usados como pavimentos de garagem e entrada social. O projeto conta com 132 unidades autônomas distribuídas em 16 pavimentos tipos, variando de 6 a 9 apartamentos por andar.

O projeto original aprovado não conta com estudo de instalação de aquecedores solares. O estudo de caso proposto será de sugerir esta alternativa e as mudanças necessárias para a adequada implantação desta proposta, calculando os custos envolvidos, mudanças nos projetos e execuções, servindo como ferramenta para futuras tomadas de decisão de construtoras, arquitetos e gestores prediais que queiram partir para o mesmo caminho.

4 SISTEMA PREDIAL DE ÁGUA QUENTE

O sistema predial de água quente deve ser projetado e executado de tal forma que garanta que a água chegue nos pontos onde há a necessidade de consumido em qualidade, quantidade e temperatura adequadas ao seu uso, independente do sistema utilizado, seja ele solar, elétrico, a gás ou outra fonte de calor alternativa.

Atualmente, por facilidade construtiva e menores custos de infraestrutura (RAIMO. 2007), as construtoras na cidade de São Paulo optam por entregar os edifícios residenciais com uma previsão de aquecimento da água em um sistema central privado a gás, quando nas imediações do empreendimento há infraestrutura de sistema de gás encanado já disponível. Com ponto de água fria, entrada de gás e saída de água quente para os banheiros e em alguns casos também para a cozinha já previstos e instalados, deixando por conta do proprietário da unidade a compra e instalação do aquecedor a gás. Nos casos onde não há gás encanado na rua do empreendimento, geralmente é previsto o sistema individual de aquecimento elétrico, em que fica por conta do usuário a compra e instalação dos chuveiros elétricos para o banheiro e aquecedores elétricos de torneira para a cozinha.

Nos dois casos, a construtora só fica responsável pelo fornecimento de água fria até a unidade. Toda a água quente utilizada é aquecida dentro de cada unidade autônoma.

4.1 Sistemas de aquecimento de água no Brasil

Dados da pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso – ano base 2005 (PROCEL 2007) mostram que no Brasil, 80,9% dos domicílios aquecem a água do banho. Esse número sobe para 97,7% quando analisado os domicílios da região sudeste. Do total de domicílios que aquecem a água, 73,5% utilizam energia elétrica como fonte de aquecimento, como pode ser observado na Figura 5, desse valor, quase a totalidade, 99,6%, utilizam o chuveiro elétrico como fonte de aquecimento.

Figura 5 - Fonte utilizada para aquecimento de água para o banho – Brasil

Fonte: PROCEL (2007)

Na região sudeste, 91,4% dos domicílios que aquecem a água utilizam uma fonte elétrica de calor e a porcentagem que utiliza chuveiro elétrico nesse sistema é muito parecida com a parcela nacional, 99,58%, conforme Figura 6.

Figura 6 - Fonte utilizada para aquecimento de água para o banho – Sudeste

Fonte: PROCEL (2007)

4.1.1 Sistema Individual

O Sistema Individual consiste no aquecimento da água fria única e exclusivamente para um ponto de utilização e o equipamento gerador de calor está localizado no próprio ponto de consumo. A grande vantagem desse sistema é a dispensabilidade de uma coluna ou ramal de água quente, toda a

distribuição de água dentro da unidade habitacional é feita apenas por tubulação de água fria, o que gera menor utilização de tubos, conexões e válvulas, reduzindo o custo com material, mão de obra e o número de instalações na unidade autônoma.

O equipamento gerador de calor pode ser a gás combustível ou eletricidade, no qual o segundo é mais utilizado. (PROCEL, 2007)

Nos casos de aquecedores individuais a eletricidade, o acionamento do chuveiro elétrico é feito automaticamente pelo fluxo de água ao passar pela resistência elétrica, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Funcionamento simplificado de um chuveiro elétrico

Fonte: Adaptado de Ilha, Gonçalves e Kavassaki (1994).

As vantagens da utilização do chuveiro elétrico são diversas, entre elas podemos citar o baixo custo de instalação e manutenção, em comparação com os outros sistemas de aquecimento, e o alto rendimento elétrico transformando a energia elétrica em energia térmica, como pode ser observado na Tabela 2, fornecida pelo INMETRO, em que todos os 461 modelos de chuveiros avaliados têm eficiência energética superior a 95%.

Tabela 2 - Consumo de energia elétrica para chuveiros elétricos

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM			CONSUMO DE ENERGIA (kWh)
CLASSES DE POTENCIA	POTENCIA (W)	UTILIZAÇÃO	
A	$P \leq 2.400$	PREFERENCIALMENTE, REGIÃO DE CLIMAS MAIS QUENTES, COMO A REGIÃO NORTE	< consumo
B	$2.400 > P \leq 3.500$		
C	$3.500 > P \leq 4.600$		
D	$4.600 > P \leq 5.700$	PREFERENCIALMENTE, REGIÃO DE CLIMAS MÉDIOS A QUENTES, COMO AS REGIÕES NORDESTE E CENTRO-OESTE	
E	$5.700 > P \leq 6.800$		
F	$6.800 > P \leq 7.900$	PREFERENCIALMENTE, REGIÃO DE CLIMAS MAIS FRIOS, COMO AS REGIÕES SUL E SUDESTE	
G	$P > 7.900$		> consumo

ESTES PRODUTOS ESTÃO TAMBÉM DE ACORDO COM AS NORMAS BRASILEIRAS DE SEGURANÇA.

ESTES PRODUTOS TÊM SUA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA SUPERIOR A 95%.

DADOS: 20 MARCAS
57 FAMÍLIAS
461 MODELOS

Fonte: Adaptado de INMETRO (2016)

Apesar de eficiente do ponto de vista de transformação da energia elétrica em térmica, o consumo elétrico para isso é muito grande. Nesta mesma tabela, nenhum dos 461 modelos testados se enquadra na classe de potência nível A, ou seja, todos os modelos têm uma potência elétrica maior que 2.400W. Além do alto consumo de energia elétrica, a vazão dos chuveiros elétricos é baixa, em relação as outras alternativas de mercado, o que gera ao usuário uma percepção de um banho de menor qualidade e satisfação.

Além de chuveiros elétricos, também são considerados sistemas individuais de aquecimento de água qualquer outro dispositivo que pontualmente aqueça a água para seu uso de forma instantânea e individual, tais como torneiras elétricas para lavatórios ou pias, aquecedores individuais a gás, entre outros.

4.1.2 Sistema Central Privado de Passagem

O Sistema Central Privado tem como característica principal um único ponto de aquecimento instantâneo ser responsável pelo aquecimento da água de todos os pontos de água quente de uma mesma residência, ou seja, um único aquecedor fornece água quente para todos os chuveiros, torneiras e pontos hidráulicos que demandem água aquecida.

Geralmente esse tipo de aquecedor é a gás, podendo também ser elétrico, óleo combustível, lenha ou solar. No caso do aquecedor a gás de passagem, quando um ponto de utilização é aberto, o aquecedor é acionado aquecendo a água que por ele passa. No interior do equipamento, água percorre um tubo em

forma de espiral que sofre o aquecimento a partir de uma chama central, resultado da queima de gás combustível, conforme esquema apresentado na Figura 8 e em fotografia na Figura 9. Nos locais com sistema de distribuição de gás instalados nas imediações, é utilizado o gás natural distribuído pela concessionária, mas também pode ser usado o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) nos locais não servidos por sistema de distribuição de gás encanado.

Figura 8 - Esquema de funcionamento aquecedor a gás de passagem

Fonte: Adaptado de LAMECC-UFRGS. Disponível em:
<<http://www.ufrgs.br/lamecc/projetos/Aquecedores>>

Figura 9 - Aquecedor a gás de passagem aberto.

Fonte: Adaptado da internet. Disponível em: <http://www.dicasdonovoape.com/2014/09/revisao-preventiva-do-aquecedor-gas.html>. Acesso em 12 nov. 2019

A água sai aquecida do equipamento na temperatura de uso pré-determinada pelo usuário no próprio aparelho e vai para o ponto de utilização pela tubulação de água quente, que deve ter o menor percurso possível para evitar perdas de calor ao longo do trajeto.

A tubulação de água quente pode seguir um caminho direto até o ponto ou pode constituir circuito fechado com previsão de linha de retorno, onde haja a recirculação da água dentro do encanamento de água quente, evitando desperdício de água fria, uma vez que a água dentro da tubulação está na temperatura de uso, evitando o descarte da água fria que fica dentro da tubulação até a chegada da água quente vinda do aquecedor, como exemplificado na Figura 10.

Figura 10 - Esquema de um circuito fechado com linha de retorno

Fonte: Adaptado de Rinnai. Disponível em:
<<https://www.rinnai.com.br/uploads/catalogo/187.pdf>>. Acesso em 12 nov. 2019

Uma vantagem dos aquecedores a gás de passagem é a redução do consumo de energia elétrica, uma vez que utiliza uma fonte energética alternativa bastante eficiente do ponto de vista de rendimento energético. De acordo com a Tabela de Consumo e Eficiência Energética do INMETRO, ilustrada na Figura 11, dos 297 modelos testados, 280 conseguiram o selo CONPET por atingir a classificação A por ter um rendimento maior ou igual a 84%. Isso corresponde a 94,3% dos produtos testados.

Figura 11 - Critérios de classificação de aquecedores a gás instantâneos.

Fonte: Adaptado de INMETRO (2017)

Outra vantagem é a vazão de água quente que é maior quando comparado com os chuveiros elétricos, gerando uma sensação de um banho de maior qualidade pelos usuários, do ponto de vista da quantidade de água que sai pelo chuveiro. Porém, há um maior consumo de água que pode ser considerado como uso ineficiente da água.

Algumas desvantagens quanto ao uso do sistema de aquecimento a gás instantâneo são o espaço necessário para sua instalação, uma vez que suas dimensões podem ser consideradas grandes para as áreas de serviços dos apartamentos atuais, onde geralmente são instalados, e a necessidade de exaustão dos gases gerados pela queima do gás combustível dentro do aparelho.

Quanto à exaustão dos aquecedores de passagem, existem no mercado três classificações e a escolha pode variar de acordo com as necessidades do cliente e características de projeto. Nos aparelhos de exaustão natural, como o próprio nome sugere, o gás da queima sai naturalmente pela chaminé, que deve ser instalada para fora da edificação com auxílio de um duto ou de maneira direta, dependendo da localização do aparelho na edificação. Para os de exaustão forçada, diferente do anterior, os gases provenientes da queima do gás combustível são forçados para fora do ambiente com o auxílio de ventoinhas. Por fim, os aquecedores de fluxo balanceado, que por serem totalmente blindados, podem ser instalados em locais fechados como, por exemplo no próprio banheiro, entretanto, precisam ser instalados com dois dutos e chaminés, um para tomada do ar externo e outro para saída dos gases

da queima do gás combustível, ambos com auxílio de ventoinhas, o que torna a instalação mais complicada.

4.1.3 Sistema Central Privado de Acumulação

Comumente usados nos países europeus (FROST&SULLIVAN, 2001) e nos países norte-americanos (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2009) os Sistemas Centrais Privados de Acumulação não são usuais no Brasil. A título de comparação, nos Estados Unidos, quase 97% do mercado de aquecimento de água é dominado pelo uso dos aquecedores de acumulação, sendo 49% aquecedores elétricos e 48% por acumuladores a gás, os outros 3% são por conta de aquecedores de passagem a gás conforme pode ser observado na Figura 12.

Figura 12 - Mercado de aquecedores de água divididos por combustível e tecnologia, 2006.

Fonte: Adaptado de U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2009)

O funcionamento do Sistema Central Privado de Acumulação se assemelha ao Sistema Central Privado de Passagem no sentido em que ambos atendem

diversos pontos de uma mesma unidade habitacional com um único aquecedor. A diferença entre os dois sistemas fica por conta do modo que a água é aquecida. Enquanto que no sistema de passagem, o acionamento do ponto de utilização de água quente aciona o aquecedor instantaneamente, no sistema de acumulação, a água quente é mantida já na temperatura ideal para o uso, sendo apenas distribuída ao se acionar o ponto de utilização. Para isso, se faz necessária a presença de um reservatório de água quente, além de toda a infraestrutura já necessária para o Sistema Central Privado de Passagem. Geralmente, o reservatório de água quente e o aquecedor são um só aparelho responsável por esquentar e armazenar a água, constituído por um bloco único, conforme mostra Figura 13. Também existe no mercado soluções onde o gerador é separado do reservatório,

Figura 13 - Esquema de Aquecedor de acumulação

Fonte: COMGÁS (2011)

Para os aparelhos de bloco único, o aquecedor mantém o volume de água armazenado a temperatura de uso. A medida que o tempo passa, a

temperatura no interior do reservatório cai devido à troca de calor com o meio. Os materiais isolantes térmicos, que revestem o equipamento, não conseguem evitar a transmissão do calor da água no interior do reservatório para o meio externo, apesar de reduzirem essa transmissão. Com o auxílio de um termostato, o aparelho detecta quando houve uma queda significativa de temperatura e liga o aquecedor para elevar novamente a temperatura interna em valores definidos pelo usuário, conforme detalhado na Figura 14.

Figura 14 - Esquema com descrição dos componentes de aquecedor de acumulação

Fonte: Adaptado de Ilha, Gonçalves e Kavassaki (1994).

Quando não é usado um sistema com bloco único, o sistema utilizado recebe o nome de sistema conjugado, o qual um ou mais aquecedores de passagem são responsáveis pelo aquecimento da água e então essa água já aquecida vai para um reservatório térmico onde ficará armazenada até seu uso, como ilustrado na Figura 15.

Figura 15 - Sistema conjugado com reservatório vertical e três aquecedores a gás de passagem.

Fonte: Disponível em: <https://www.moemaaquecedores.com.br/produtos_aquecedores_venda.html>. Acesso em 12 nov. 2019

No sistema conjugado, a água fria entra pela parte inferior no reservatório até completar a capacidade do tanque. Um termostato, com seu sensor instalado na parte interna e inferior do tanque, ao identificar que a água armazenada está com temperatura abaixo da ideal, aciona uma bomba que manda a água do reservatório para o aquecedor de passagem, que devolve a água aquecida para dentro do tanque por um tubo localizado aproximadamente na metade da altura desse tanque. Na parte superior do reservatório, é instalada a tubulação de saída de água quente para o abastecimento dos pontos de consumo.

A grande vantagem desse sistema é a facilidade em alterar sua potência apenas com a troca, acréscimo ou diminuição do número de aquecedores. O problema desse sistema é o alto valor de instalação, uma vez que demanda diversos aparelhos diferentes como termostato, bomba hidráulica, reservatório e aquecedor de passagem, além do espaço ocupado ser bastante elevado por parte do reservatório e aquecedor, além dos custos elevados de operação.

Quanto a característica de transferência de calor entre o queimador e o reservatório, o conjunto de aquecedores de acumulação podem ser classificados entre diretos e indiretos. Os acumuladores com sistema de aquecimento direto têm o contato entre a superfície aquecida, tanto pela

queima quanto pelos gases gerados por essa queima, com a água, conforme Figura 14. Nos acumuladores indiretos, um fluido intermediário é usado para aquecer a água, ou seja, o fluido intermediário é aquecido pela chama e gases gerados pela combustão. Esse fluido é responsável por transferir o calor para a água armazenada.

Por não ter o contato direto entre fonte de calor e a água armazenada, podem ser usados fluidos com melhores propriedades térmicas que melhoram a troca de calor, além disso, com o menor contato entre a chama e a água que será consumida, reduz a variação térmica, que por consequência, diminui o choque térmico entre a água que entra no sistema próximo a temperatura ambiente e o reservatório que está na temperatura da água de uso. Desse modo, a vida útil do aparelho com sistema indireto é maior que a do aquecedor com sistema direto.

Alguns cuidados devem ser tomados quando da utilização do sistema de aquecimento de acumulação, como por exemplo, para evitar queimaduras na eventualidade de falha de abastecimento. A tomada de água quente deve ser feita em um nível acima das tomadas de água fria. Outro cuidado que deve ser tomado é com o ramal de alimentação, que deve ser executado de modo a não permitir o esvaziamento do aquecedor, a não ser pelo dreno. Também deve-se providenciar respiro, ou dispositivo semelhante, na saída da tubulação de água quente e o mesmo não pode ser coletivo.

4.1.4 Sistema Central Coletivo

O Sistema Central Coletivo se difere do Central Privado principalmente em três aspectos. O primeiro é que o Sistema Central Coletivo, como o próprio nome sugere, é responsável pelo abastecimento de mais de uma unidade autônoma, ou seja, um reservatório tem que armazenar quantidade suficiente para abastecer mais de uma unidade habitacional. Isso nos leva a segunda diferença, o tamanho do reservatório deve ser maior. O terceiro aspecto que os dois sistemas se diferem é quanto a localização dos aparelhos. Por se tratar de um sistema coletivo, os componentes do sistema devem estar localizados em áreas comuns, com acesso para instalação, controle e manutenção a

disposição de todos os proprietários ou responsáveis por esse sistema sem a necessidade de entrar em uma unidade privada.

Do mais, as mesmas características, cuidados, benefícios e dificuldades encontrados nos Sistemas Centrais Privados são também encontrados nos Sistemas Centrais Coletivos, em uma escala maior, pois atendem mais sistemas hidráulicos em unidades habitacionais diferentes e consequentemente, mais pontos de consumo de água.

4.1.5 Sistema de Aquecimento Solar

O aquecimento solar no sistema predial de água quente é similar aos sistemas convencionais apresentados anteriormente assistidos por coletores solares, que tem a função de aquecer a água antes do uso direto ou esquentá-la antes de ser aquecida por alguma outra fonte de calor para chegar na temperatura final de uso com uma maior economia de combustível.

A grande vantagem do sistema de aquecimento solar de água é o fato da fonte de calor para o sistema ser grátis e limpa. Como desvantagens, podem ser citados os custos de instalação e as variações climáticas ao longo do ano, que não garantem autonomia para o sistema, uma vez que há dias chuvosos e com neblina, a eficiência do sistema não atingirá de maneira satisfatória seu propósito igual aos dias ensolarados e sem nuvens. Por esse motivo se faz necessária a instalação de um sistema complementar ao solar, que atenda a toda a demanda em caso de não ser possível a utilização temporária do sistema de aquecimento solar.

Para uso residencial, os três coletores mais comuns encontrados no mercado hoje são os Coletores Planos Abertos, Fechados e os de Tubo a Vácuo.

Os Coletores Planos Abertos são mais indicados para usos recreativos, como em piscinas, por exemplo. Isso pelo fato de não atingirem temperaturas maiores que 45°C, o que impede seu uso para chuveiros, por exemplo.

Os Coletores Planos Fechados atingem maiores temperaturas que o Aberto e por esse motivo são os mais indicados para o aquecimento da água de uso residencial e será apresentado com maiores detalhes no capítulo seguinte.

Outra opção que também pode ser utilizada em sistemas residenciais de aquecimento de água é o Coletor de Tubo a Vácuo, que atinge temperaturas e

eficiência maiores quando comparado ao Coletor Plano Fechado, porém, seu custo mais elevado, maior demanda de manutenção, maior fragilidade e complexidade de manuseio dos tubos de vidro, ainda o relega a ser o mais utilizado no mercado.

Quanto a forma de distribuição de água no sistema de aquecimento solar, o sistema pode ser classificado em Sistema Direto ou Sistema Indireto.

No Sistema Direto, a água que é aquecida pelo sistema solar é armazenada em reservatórios térmicos, distribuída diretamente ao ponto de consumo na residência e consumida pelo usuário final.

Já no Sistema Indireto, a água que é aquecida pelo sistema solar fica circulando dentro de um sistema fechado e transfere a energia térmica para a água dentro do reservatório. Essa água que foi aquecida de maneira indireta será consumida pelo usuário final.

A vantagem do sistema direto é a maior facilidade de instalação, operação e manutenção e menor quantidade de componentes no sistema, porém tem como desvantagem maior desperdício de água e calor devido ao comprimento das redes. Quanto maior a rede, maior perda térmica devido a troca de calor entre a tubulação de água quente e o ambiente.

4.1.6 Elementos dos sistemas

Além dos elementos mais importantes já citados ao longo do capítulo como os aquecedores e reservatórios, o sistema é composto por diversos outros componentes como tubos, conexões, juntas, válvulas entre outros dispositivos que podem ser instalados nesse sistema.

É importante ressaltar que todos os componentes do sistema devem atender aos requisitos impostos tanto pelas normas técnicas vigentes como por requisitos demandados pela utilização dos usuários, preservando a qualidade da água e evitando refluxo ou retorno de água no sistema e principalmente contaminação de esgoto sanitário e demais águas servidas por conexão cruzada.

Por se tratar de um sistema de água quente, os materiais usados em todos os componentes devem ter as características adequadas para suportar as temperaturas de uso.

Sempre que possível, e onde se fizer necessário, deve-se fazer o isolamento térmico das tubulações das colunas de distribuição, ramais e sub-ramais do sistema.

4.1.7 Medição individualizada

A fim de obter uma redução no consumo de água do condomínio de um modo geral e tornar a forma de cobrança mais justa para todos os condôminos, passou-se a adotar a medição individualizada também nos condomínios residenciais, pratica que já era padrão em residenciais unifamiliares, mas não em edifícios multifamiliares.

Em 12 de julho de 2016, foi promulgada a lei federal de nº 13.312 que obriga a medição individualizada do consumo hídrico nas novas edificações condominiais, mais que a criação de uma lei que obriga as construtoras a entregarem o empreendimento com a previsão de individualização de água e gás encanado, a própria demanda dos clientes fez com que fosse criado a cultura de medição individual dentro dos novos condomínios.

Se por um lado, para o consumidor final criou-se uma facilidade, por outro, para as construtoras, gerou-se a necessidade de planejar e executar um shaft em área comum para a instalação de um centro de medição que atenda individualmente cada unidade autônoma, geralmente localizado nos halls de cada andar de edifícios residenciais.

A implantação de um sistema de água quente que a água será aquecida externamente e já chega na temperatura de uso à residência do consumidor final, gera a necessidade de um outro espaço para a instalação de uma nova central de medição, essa para a água quente, um pouco mais complexa que para a água fria pois, para haver uma distribuição justa das contas condominiais, é necessário não só medir a vazão, mas também as temperaturas da água que está sendo enviada para o apartamento. Uma outra opção é manter constante a temperatura do sistema e apenas medir a vazão da água quente, essa solução permite um medidor mais simples para cada unidade, com o cuidado de escolher um medidor que suporte a temperatura da água nesse sistema, mas por outro lado, demanda um maior cuidado para

manter o sistema central em uma temperatura constante pré-estabelecida pelo gestor do sistema.

4.1.8 Qualidade e temperatura da água

Para atender às necessidades de desempenho exigido pelos usuários do sistema predial de água quente, a qualidade da água é um dos requisitos que deve ser atingido.

A qualidade da água que entra no sistema predial de água fria, que posteriormente é aquecida e distribuída pelo sistema de aquecimento predial, é de responsabilidade da concessionária ou operadoras até a entrada do cavalete. Após o cavalete, a responsabilidade de atender aos requisitos do sistema é do usuário.

Além de garantir a distribuição da água com uma certa confiabilidade, pressão e vazão adequadas, a qualidade da água é garantida através de teste periódicos com relatórios mensais nos quais são controlados os níveis de turbidez da água, cor aparente, cloro residual livre, coliformes fecais e controle da bactéria *Escherichia coli*, pois sua alta concentração é prejudicial à saúde.

Outro cuidado necessário na distribuição de água, principalmente quando a água distribuída é aquecida, é o controle da bactéria *Legionella pneumophila*, que pode causar, entre outras doenças, a doença do Legionário, uma forma severa de pneumonia.

Pesquisas da European Centre for Disease Prevention and Control indicam que sistemas de distribuição como tubulações de água quente, independente de seu comprimento, onde há armazenamento de água com temperaturas entre 20°C e 45°C são ambientes propícios para o cultivo, crescimento e proliferação da bactéria *Legionella pneumophila*. (LEE, 2018).

Por esse motivo, é importante ao dimensionar e projetar o sistema de água quente predial, tomar os devidos cuidados para evitar que a água armazenada e distribuída esteja sempre com temperaturas acima de 50°C, que garante níveis baixos de risco de contaminação por essa bactéria (DE CUYPER, 2008). Em contrapartida, a distribuição de água a uma temperatura muito elevada, causa maior perda térmica pela tubulação e principalmente aumenta o risco de queimaduras por uso direto, antes da mistura com a água fria. A pele de um

adulto exposta a água a uma temperatura de 54°C pode sofrer escaldões após 30 segundos. Tais queimaduras podem ser evitadas com a redução em dois graus, para valores iguais ou inferiores a 52°C (FELDMAN et al., 1978). A relação entre o tempo de exposição à água quente e a temperatura da água que pode causar escaldões está representada no gráfico da Figura 16.

Figura 16 - Duração da exposição à água quente necessária para causar escaldões de espessura total da pele adulta a várias temperaturas da água

Fonte: Adaptado de Feldman et al. (1978)

Portanto, o mais indicado é a água quente chegar ao ponto de consumo, antes de misturar com a água fria, a uma temperatura entre 50° e 52°C, evitando propagação da bactéria *Legionella pneumophila*, queimaduras e escaldões.

4.2 Sistema de Aquecimento Solar de Água

O Sistema de Aquecimento Solar é um sistema composto por coletores solares, reservatório térmico, aquecimento auxiliar, acessórios e interligações hidráulicas que funcionam com circulação natural por termossifonagem, ou forçada.

Existem diversos tipos de sistemas de aquecedores solares, entre eles, o mais comum no Brasil é o que utiliza os Coletores Planos Fechados, por esse motivo, serão detalhados seus componentes, funcionamento e instalação.

4.2.1 Componentes

Será detalhado o funcionamento e características dos dois mais importantes componentes do sistema de aquecimento solar de água: Coletores Solares Planos Fechados e Reservatório Térmico. Também será apresentado o funcionamento dos acessórios e interligações hidráulicas.

4.2.1.1 Coletor Solar Plano Fechado

O Coletor Solar é o equipamento mais importante do sistema, ele é responsável em converter a energia solar em energia térmica para o aquecimento da água. Seus componentes são detalhados na Figura 17

Figura 17 - Coletor solar plano fechado.

Fonte: Adaptado de Duffie e Beckman (2013)

A caixa externa é geralmente feita em alumínio e tem a função de ser a estrutura do coletor, dando o suporte físico a composição e proteção mecânica ao sistema.

Na parte inferior, há o isolamento térmico, que como o próprio nome já sugere, tem como objetivo evitar a perda de calor do sistema para o meio externo. O isolante térmico é composto por qualquer material que tenha uma baixa

condutividade térmica, geralmente é feito de espuma de poliuretano expandido, lã de rocha ou lã de vidro, que são materiais relativamente baratos e que atendem aos requisitos necessários para uma boa isolamento térmica.

Acima do isolamento térmico, as placas de absorção ou aletas revestem os tubos absorvedores, que são tubos finos, geralmente de cobre, conectados, dispostos em formato de serpentina ou de grade por onde passa o fluido, que no caso de circuitos diretos, é a própria água que será usada no final do processo.

As aletas que revestem o tubo são responsáveis pela absorção e transferência da energia solar para ele e, por consequência, para a água. São constituídos por um conjunto de chapas metálicas, geralmente de cobre ou alumínio. É exatamente a composição dessas chapas metálicas que vai garantir a eficiência do coletor. Quanto maior a condutividade térmica do conjunto, maior a sua eficiência. Para aumentar ainda mais a condutividade térmica, as placas são revestidas com tinta escura de alta absortividade.

Na cobertura do coletor é instalada uma placa de vidro ou acrílico, que permite a entrada da radiação solar sem perda de calor. A vedação de borracha de silicone reveste o vidro e impede a entrada de água de chuva ou lavagem para dentro do coletor e ainda ajuda a evitar a perda de calor do sistema.

4.2.1.2 Reservatório Térmico

Como o próprio nome já sugere, o reservatório térmico tem como função armazenar a água previamente aquecida pelos coletores solares.

Esse reservatório é constituído de materiais que suportam as altas temperaturas da água, resistentes a corrosão e com grande capacidade de isolamento térmico, para manter a temperatura até o momento do consumo do usuário final. O reservatório pode ser de metal ou plástico e sua fabricação e características podem variar de acordo com o sistema em que ele está trabalhando, podendo variar entre reservatórios verticais e horizontais, em nível ou desnível, de alta ou baixa pressão (baixa pressão trabalhando com até 5 mca e os de alta pressão chegando até 20 mca.) ou ainda com ou sem apoio de uma fonte alternativa de energia (elétrica ou a gás).

4.2.1.3 Acessórios e interligações hidráulicas

Os demais componentes que interligam os coletores entre si, os coletores com os reservatórios e os reservatórios até a destinação final da água quente devem ser compostos por tubulações, válvulas e registros com resistência a temperatura adequadas ao seu uso, podendo ser de Polipropileno, PEX, CPVC ou cobre, revestidos ou não por material isolante como lã de rocha, lã de vidro ou algum material polimérico com baixo coeficiente de condutibilidade térmica. Por se tratar de água quente, os itens de segurança do sistema devem ser obrigatoriamente instalados para evitar sobre pressão e temperaturas elevadas.

Um dos itens de segurança que deve ser instalado é o vaso de expansão, que tem a função de absorver as diferenças de volume da água decorrentes do seu aquecimento.

Válvulas Ventosas, que tem a função de retirar o ar da tubulação, evitando o mau funcionamento do sistema, obstrução da tubulação por bolhas de ar, golpes de aríete e preservando a bomba de circulação e as Válvulas de Segurança por Temperatura e Pressão (TP), que controlam e limitam a temperatura e pressão da água quente no reservatório térmico a valores inferiores ao de formação de vapor, descarregando parte da água do reservatório até o funcionamento adequado do mesmo são outros itens de segurança obrigatórios no sistema de água quente.

Outros itens para verificação e manutenção do sistema também devem ser instalados, como por exemplo: manômetros, sensores e drenos.

Próximo do ponto de consumo, sugere-se a instalação de uma Válvula Misturadora Termostática que tem a função de ajustar automaticamente a temperatura de água quente, misturando-a com a fria, chegando à temperatura adequada para o uso, definida previamente por meio de um registro na parte superior, conforme detalhado na Figura 18.

Figura 18 - Válvula Misturadora Termostática

Fonte: Disponível em <<https://www.casamimosa.com.br/valvula-misturadora-termostatica-1-emmeti>>. Acesso em 12 nov. 2019

4.2.2 Funcionamento do Sistema

O circuito hidráulico pode ser dividido entre dois tipos: passivo, onde a água circula pelo sistema por termossifonagem ou ativo, quando a água tem sua circulação forçada por meio de uma bomba hidráulica. Além dessa classificação, uma outra pode ser empregada: circuito direto, no qual a água que é aquecida pelo sistema é a mesma água utilizada pelo usuário final, e o circuito indireto, o qual um fluido refrigerante, como por exemplo propileno-glicol, etileno glicol, óleos siliconados ou hidro carbonados, recebem o calor do coletor solar e transfere para água com o auxílio de um trocador de calor. Como a principal razão para o sistema indireto é evitar o congelamento do sistema quando o mesmo for submetido a temperaturas negativas. Como o trabalho foi realizado para um edifício no município de São Paulo, onde historicamente nunca houve temperaturas negativas, esse modelo não foi analisado.

4.2.2.1 Termossifão

No circuito hidráulico passivo, a grande vantagem é a não necessidade do uso de bomba hidráulica para a movimentação da água no sistema, toda a circulação é feita por gravidade e diferença de densidade entre água fria e água quente, sendo que a água fria é mais pesada. Por isso, ao elevar a

temperatura dentro dos coletores, a água vai subindo pela tubulação interna dos coletores, fazendo a água de todo o sistema circular sem ajuda mecânica. A Figura 19 mostra um esquema dos componentes de um sistema passivo direto.

Figura 19 - Circuito hidráulico passivo - Termossifão.

Fonte: Carvalho (2009)

A água armazenada na caixa de água fria (representada na Figura 19 por 3) entra na parte inferior do reservatório térmico (5) após passar pelo sifão (4), que tem a função de evitar o retorno da água que já está dentro do reservatório térmico (2) para a caixa de água fria.

Uma vez preenchido todo o reservatório térmico, o registro da saída de água para os coletores (7) é aberto e o coletor solar (1) é preenchido com água fria.

Com a incidência dos raios solares sobre o coletor solar, a água em seu interior aquece e pela diferença de densidade, sobe pela tubulação de retorno de água dos coletores (6) e retorna pela parte superior do reservatório térmico.

Por ser um material não compressível, quando a água quente entra na parte de cima do reservatório térmico, a mesma quantidade de água deixa o reservatório térmico pela saída inferior (7), iniciando o ciclo de aquecimento novamente, elevando a temperatura da água reservada.

Quando o usuário acionar o ponto onde será usada a água aquecida pelo sistema, pela parte superior do reservatório térmico, na saída de água para

consumo (8), a água quente sai no reservatório e entra na prumada de distribuição. Nesse momento, o mesmo volume de água quente que deixa o sistema por cima é reabastecido da caixa de água fria para a parte de baixo do reservatório térmico, mantendo as tubulações e reservatório térmico do sistema sempre preenchido completamente de água.

Para a segurança e manutenção adequada, mais dois componentes devem ser instalados. O primeiro deles é o registro para limpeza do sistema (número 9), para que seja possível retirar a antes da limpeza periódica necessária para manter os níveis adequados da qualidade da água. Esse registro para limpeza deve ser instalado no ponto mais baixo do sistema para garantir que toda a água possa ser removida por gravidade quando a válvula for aberta. Importante ressaltar que para a adequada manutenibilidade desse sistema, essa válvula deve ficar em local de fácil acesso para poder ser aberta e fechada sem que haja riscos para o prestador de serviço. Após o registro deve ser previsto um ralo para que a água que saia do sistema não acumule sobre a laje ou telhado onde o reservatório térmico esteja instalado.

O segundo componente que não pode ser esquecido, principalmente para manter a segurança do sistema é o respiro (número 10) que deve ficar logo após a saída da água do reservatório térmico (número 8) e estar localizado no ponto mais alto da tubulação de água quente para que as bolhas de ar que possam se formar no interior do sistema se concentrem nesse lugar. O respiro nada mais é que um tubo aberto que permite a entrada e saída de ar de dentro do sistema, estabilizando a pressão interna e evitando que o reservatório rompa. Esse dispositivo de segurança é um tubo aberto que deve ultrapassar, em altura, o nível máximo da caixa de água fria (número 3). Como todo o sistema trabalha apenas com as forças da gravidade e diferenças de densidade da água, se o respiro estiver em um nível abaixo da caixa de água fria, o respiro irá trabalhar como um “ladrão”, desperdiçando toda a água que foi aquecida até que o nível da caixa de água fria se equipare ao nível do respiro.

Para que o processo no sistema termossifão aconteça de forma confiável e segura, algumas alturas e distâncias devem ser respeitadas, conforme mostra Figura 20.

Figura 20 - Circuito hidráulico passivo - Termossifão.

Fonte: Carvalho (2009)

4.2.2.2 Circulação forçada

No circuito forçado, a disposição dos componentes no sistema é praticamente a mesma do circuito hidráulico passivo, mas como a circulação de água é feita por uma bomba hidráulica, o sistema não precisa estar em desnível e nem respeitar as diferenças de cota da Figura 20 (exceto ao respiro que deve sempre estar com sua abertura acima da caixa de água fria). Além disso, é necessária a instalação de um quadro de comando e de sensores, como pode ser visto na Figura 21.

Figura 21 - Circuito hidráulico ativo - Circulação forçada.

Fonte: Carvalho (2009)

O sensor, ao detectar que a temperatura do reservatório térmico está inferior a temperatura estabelecida previamente, manda um comando para ligar a bomba, que faz a água circular pelo sistema até que seja atingida a temperatura pré-estabelecida ou que não haja ganho de temperatura por parte do sistema. A grande vantagem do sistema com circulação forçada é o ganho de espaço causado pela não necessidade de manter as alturas mínimas na termossifonagem, porém, a demanda de energia elétrica para bomba, sensores e comando e os custos de instalação, deixam o sistema mais oneroso quanto sua instalação, uso e manutenção.

4.2.3 Instalação dos Coletores Solares

O primeiro componente a ser posicionado e instalado é o reservatório térmico. Para isso, alguns cuidados devem ser tomados após a definição da sua capacidade e local de instalação.

Para começar, o local onde será instalado o reservatório térmico deve ser de fácil acesso para manutenções preventivas por meio de colaboradores

especializados e gestor predial, mas seu acesso deve ser vedado aos demais funcionários e usuários do edifício para evitar que pessoas não autorizadas tenham acesso a esse reservatório.

O local de instalação, bem como o reservatório devem atender às alturas e inclinações de projeto, sejam elas por termossifão ou circulação forçada, para que o sistema funcione de forma eficiente e segura.

Deve-se garantir que o local onde será apoiado o reservatório comporte seu peso quando estiver completamente cheio e em funcionamento.

Após a instalação do reservatório, a próxima etapa é a instalação das placas coletoras. Quanto mais próximo estiver o reservatório do coletor, menor será a perda de calor do sistema, tornando-o mais eficiente.

A instalação das placas coletoras pode ser feita sobre suportes geralmente produzidos em ferro, aço inoxidável ou alumínio quando instaladas diretamente sobre a laje plana, sem a cobertura de telhas. Caso haja a presença de telha na cobertura, as placas podem ser instaladas diretamente sobre elas ou com auxílio de suportes. Um exemplo de instalação dos coletores solares pode ser visto na Figura 22.

Figura 22 - Coletor solar plano sobre estrutura de alumínio instalada em sobre telha de fibrocimento.

Fonte: Disponível em: <<http://aquecedores.cotanet.com.br/aquecimento-solar/aquecimento-solar-cumulus>>. Acesso em 12 nov. 2019

Para ambos os casos, é importante manter a inclinação adequada do coletor.

Caso a intenção seja obter uma maior energia total anual pelo sistema, o ideal é a instalação das placas com o ângulo coincidente com a latitude local, assim, os raios solares incidem de forma perpendicular na superfície dos coletores na maior parte do ano. Caso queira obter um favorecimento para os períodos de inverno, no qual a demanda por água quente é maior, recomenda-se que a inclinação das placas solares seja igual a latitude do local de sua instalação, acrescido em dez graus. Usando a cidade de São Paulo como exemplo, localizada em uma latitude aproximada de $23,3^\circ$, a inclinação recomendada para os coletores em relação à laje plana seria de $33,3^\circ$.

Arruda (2004) em sua pesquisa, simulou para a cidade de São Paulo 8 inclinações diferentes e mediu a radiação solar diária para cada uma das delas, os resultados mostram que uma inclinação de 10° acrescida a latitude perde anualmente 1,5% de energia total quando comparada a um ângulo de inclinação igual a latitude, porém tem um ganho de 4,6% no inverno, período mais crítico de demanda de água quente, como pode ser observado na Figura 23.

Figura 23 - Energia total anual com variação da inclinação do coletor solar

Fonte: Adaptado de Arruda (2004)

Além da inclinação adequada, é fundamental para o desempenho do sistema que os coletores estejam orientados para o norte geográfico (para localidades do hemisfério sul, como é o caso de São Paulo, onde se encontra o edifício usado como base no estudo), para que no horário de maior insolação tenha a angulação mais favorável para o aquecimento da água dentro do coletor.

O terceiro cuidado quanto a instalação dos coletores é a distância entre as placas, pois entre elas deverá existir uma distância mínima que permita sua manutenção e limpeza e que evite seu sombreamento pelo parapeito da edificação ou pela fileira de placas instaladas à frente, conforme Figura 24.

Figura 24 - Distância entre as fileiras de coletores para facilitar circulação e evitar sombreamento

Fonte: Disponível em: <<https://www.solsticioenergia.com/2017/05/22/energia-solar-termica-e-fotovoltaica>>. Acesso em 12 nov. 2019

As ligações entre o reservatório térmico e a caixa d'água fria, coletores solares e saída de água para o consumo devem ser feitas utilizando os materiais corretos e junções compatíveis com seus materiais e diâmetros para evitar vazamentos, desperdícios e contaminações.

Além disso, todos os componentes auxiliares devem ser previstos e executados conforme projeto adequado, tais como sifões, respiro e registros e dreno.

As ligações hidráulicas devem percorrer a menor distância possível, evitando curvas que podem gerar bolhas e outras obstruções no sistema, além de aumentar a quantidade de perda de energia térmica. Entretanto, no caso de ligação dos coletores em paralelo, tomar o cuidado para que a água entre por um lado e na parte inferior e saia pelo lado oposto e na parte superior para garantir que o fluido percorra o mesmo trajeto e assim tenham a mesma perda de carga independente do trajeto, garantindo assim um equilíbrio vazão no sistema, conforme indicado na Figura 25.

Figura 25 - Instalação de coletores solares em paralelo

Fonte: Disponível em: < <https://www.kisoltec.com.br/instalacao-aquecedor-solar>>. Acesso em 12 nov. 2019

5 PROJETO E DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

Um sistema eficiente de aquecimento solar de água depende de um correto projeto e dimensionamento do sistema como um todo, desde dimensionamento do sistema de apoio até os componentes do sistema como coletores, reservatórios, tubos e conexões.

Esse capítulo apresenta o cálculo para a demanda de água quente necessária para o consumo de usuários em um edifício residencial vertical, o dimensionamento do sistema de apoio e o dimensionamento do sistema de aquecimento solar.

5.1 Dimensionamento do Sistema de Aquecimento de Apoio

Para a adoção do sistema de aquecimento solar no edifício, é necessário dimensionar, projetar e instalar um outro sistema de aquecimento de apoio para aumentar a confiabilidade desse sistema (DUFFIE; BECKMAN, 2013). Para isso, deve-se projetar o sistema de apoio com capacidade de atender 100% da demanda de todas as unidades autônomas na possibilidade do aquecimento solar não fornecer a água quente necessária, seja por manutenção do sistema, seja por fatores climáticos que não permitam o aquecimento da água pelos coletores ou por qualquer outro imprevisto do sistema.

Para dimensionar o sistema de aquecimento de apoio, a metodologia indicada é a do “Anexo C” da ABNT NBR 16057:2012 Sistema de Aquecimento de Água a Gás (SAAG) — Projeto e Instalação. Mesmo a norma sendo específica para aquecimento a gás, a mesma metodologia pode ser usada para sistemas de aquecimento de água elétricos, pois as equações são usadas para determinar a potência útil do aquecedor.

$$P_u = \frac{q \times c \times (T_{consumo} - T_{\text{água fria}})}{860} \quad (1)$$

Onde:

P_u - potência útil (kW);

q - vazão do chuveiro (litros/h);

c - calor específico da água (1,00 kcal/kg°C);

$T_{consumo}$ - temperatura de consumo da água (°C);

$T_{\text{água fria}}$ - temperatura da água fria (°C).

Uma vez que se saiba a potência, essa informação pode ser usada para instalação de um aquecedor de passagem tanto elétrico quanto a gás que atenda essa potência calculada.

No caso de um sistema de acumulação, determinar o volume armazenado necessário e com isso, escolher o aquecedor e reservatório térmico mais indicado. Para isso, primeiro deve ser calculado o volume diário.

$$V_{\text{diário}} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{\text{água fria}})}{(T_{armaz} - T_{\text{água fria}})} \quad (2)$$

Onde:

$V_{\text{diário}}$ - volume diário consumido de água quente armazenada (litros);

$V_{consumo}$ - volume total de água quente consumido diariamente na edificação (litros/dia);

$T_{consumo}$ - temperatura de consumo de utilização (°C). Deve ser adotado no mínimo 40°C (para as regiões Norte e Nordeste pode-se adotar 38°C).

T_{armaz} - temperatura de armazenamento da água (°C). Esta temperatura deve ser, no mínimo, igual à temperatura de consumo;

$T_{\text{água fria}}$ - temperatura da água fria do local de instalação (°C).

Encontrando o volume diário, precisamos definir o volume no horário de maior utilização, também chamado de horário de pico.

$$V_{pico} = V_{diário} \times FS \quad (3)$$

Onde FS é o fator de simultaneidade.

O volume de pico também pode ser definido através do gráfico da Figura 26 de simultaneidade do mesmo anexo C da norma NBR 16057.

Figura 26 - Fator de simultaneidade do consumo de água quente

Fonte: Adaptado de INMETRO (2012)

O volume armazenado é uma relação entre o volume de pico e o fator de armazenamento, apresentado na Tabela 3, que decresce quanto maior o volume no horário de pico. Esse volume é o mínimo de armazenamento.

$$V_{armaz} = V_{pico} \times F_{armaz} \quad (4)$$

Tabela 3 - Fator de armazenamento em relação ao volume no horário de pico.

Volume na hora de maior consumo (litros)	Fator de armazenamento (F_{armaz})
$0 < V_{pico} < 1.500$	$1/3$
$1.501 < V_{pico} < 6.000$	$1/4$
$6.001 < V_{pico} < 12.000$	$1/5$
$12.001 < V_{pico} < 20.000$	$1/6$
$V_{pico} > 20.001$	$1/7$

Fonte: Adaptado de (INMETRO, 2012)

O volume de recuperação é o volume necessário para a reposição do sistema no horário de pico e é importante ser calculado, pois com base nele será definido a potência dos aquecedores que serão instalados e devem ter uma potência maior ou igual à calculada.

$$V_{recup} = V_{pico} - V_{armaz} \quad (5)$$

$$Q = \frac{V_{recup} \times c \times (T_{armaz} - T_{\text{água fria}})}{860} \quad (6)$$

Onde:

V_{recup} - volume necessário para recuperação do sistema na hora mais crítica (litros/h)

Q - potência útil do(s) aquecedor(es) (kW);

c - calor específico da água (igual a 1,00 kcal/(kg.°C));

T_{armaz} - temperatura de armazenamento da água (°C);

$T_{\text{água fria}}$ - temperatura da água fria do local de instalação (°C).

Para determinar o diâmetro da tubulação do ramal, Ilha, Gonçalves e Kavassaki (1994) sugerem um pré-dimensionamento com base na vazão de projeto e velocidade máxima na tubulação.

$$D_{\text{MÍN}} = \sqrt{\frac{4Q_p}{\pi V_{\text{MAX}}}} \quad (7)$$

Onde:

$D_{\text{mín}}$ - Diâmetro interno mínimo efetivo da tubulação (m);

Q_p - Vazão de projeto (m^3/s);

$V_{\text{máx}}$ - Limite superior admitido para a velocidade média (m/s), sendo que a recomendação da NBR-7198 é de 3,0 m/s

Em sistemas centrais coletivos, as perdas térmicas são relevantes e devem ser calculadas para que o sistema de aquecimento de apoio escolhido contemple o fornecimento de energia e suas perdas. As perdas mais significativas estão nos reservatórios e na tubulação de distribuição. Catálogos dos fornecedores devem ser consultados para saber a condutividade térmica do material e calcular as perdas pela equação (8).

$$q = \frac{k \cdot A}{L} \cdot \Delta T \quad (8)$$

Onde:

q - Fluxo de calor por condução (kcal/h);

k - Condutividade térmica do material (kcal/h.m.°C);

A - Área da seção, perpendicular a direção do fluxo (m^2);

L - Espessura da parede (m);

ΔT - Diferença entre temperatura interna e externa da parede da tubulação (°C).

No caso de tubulações, a área da seção é o comprimento da tubulação multiplicado pelo seu perímetro.

5.2 Viabilidade para instalação do sistema de aquecimento solar

A ABNT NBR 15.569/2008 de sistema de aquecimento solar de água em circuito direto, traz em seu “anexo F”, 12 verificações preliminares para a avaliação das condições iniciais e viabilidade técnica de instalação do sistema de aquecimento solar que podem ser compreendidas da seguinte forma: Antes

de começar o estudo mais detalhado da estrutura e componentes dos sistemas prediais, verificar o local do edifício a fim de observar sua localização geográfica e imediações. Verificar a possibilidade de a instalação dos coletores solares estarem orientados para o Norte ou se algum desvio se faz necessário, esses detalhes, se não cumpridos, já podem inviabilizar a execução do projeto de maneira eficiente logo de início. Analisar a circunvizinhança para identificar obstáculos que possam causar sombreamento nos coletores solares como construções altas, árvores ou o próprio telhado ou caixa d'água da edificação em estudo, também é de suma importância nessa primeira etapa.

Em uma edificação ainda não em fase de projeto, quando da sua execução, é importante identificar todas as prumadas e pontos de abastecimento, tanto de água fria quanto de água quente a fim de evitar ligações equivocadas e auxiliar na manutenção. A obra deve ser realizada de forma fiel ao projeto de manutenção que posteriormente será entregue ao responsável pela zeladoria do edifício. Por isso, deve-se atentar-se para a correta identificação tanto em projeto como de forma física nas prumadas, válvulas e pontos hidráulicos.

O mesmo vale para as fontes de energia elétrica, com o intuito de evitar que equipamentos sejam ligados em fontes de energia com tensão, voltagem ou amperagem não compatíveis com o seu correto funcionamento, para que não haja avarias nos equipamentos hidráulicos ou até mesmo incêndios gerados em decorrência de curtos-circuitos ou outro tipo de falha elétrica.

Deve-se verificar o espaço físico de acesso para identificar se a instalação e manutenção dos componentes do sistema de aquecimento solar são suficientes e se a estrutura onde serão instalados e por onde serão transportados e armazenados até sua instalação comportam o peso adicional do sistema. Tão importante quanto a instalação desse sistema, é o espaço físico e acesso para sua correta limpeza e manutenção para manter seu bom funcionamento.

Outras questões importantes são os requisitos mínimos para a utilização da água fria como: qualidade da água, pressão e temperatura de entrada que devem ser atendidos e verificados.

Por fim, especificar os materiais e componentes necessários para a instalação do sistema, não só as características dos componentes, mas também fabricantes e fornecedores indicados para a instalação nessa edificação.

Em caso de edificações já concluídas quando da instalação do sistema de aquecimento solar, além dos cuidados necessários para edificações novas já citados, é importante a realização de uma avaliação do estado de conservação dos sistemas já instalados como por exemplo, o estado de conservação das tubulações de água fria e quente, dos equipamento elétricos, fios, cabos, quadros e disjuntores e se todos os sistemas estão dimensionados de maneira adequada para a adaptação do novo sistema de aquecimento a ser instalado.

Este roteiro visa simplificar a conferência dos 21 itens contemplados nos requisitos gerais da documentação de projeto descrita na ABNT NBR 15569/2008, que são os elementos mínimos que devem ser descritos e verificados no projeto de implantação.

De um modo geral, antes de início do projeto para a instalação do sistema de aquecimento solar, o projetista deve realizar os quatro passos propostos a seguir para verificar a viabilidade da adoção dessa solução na edificação:

- a) Realizar uma visita técnica no terreno de uma nova obra ou no edifício já construído e realizar uma análise de projeto arquitetônico, estrutural, hidráulico e elétrico a fim de verificar todos os itens sugeridos no “anexo F” da norma ABNT NBR 15569/2008.
- b) Calcular a demanda de água quente e, conseqüentemente, a demanda de energia do sistema de água quente utilizando parâmetros teóricos como normas em caso de novos edifícios ou quando possível, históricos de consumo e medições para edifícios já entregues e utilizados pelos usuários finais.
- c) Definir os critérios de projeto com base na relação volume necessário e área coletora, inclinação e orientação das placas, fração solar e características meteorológicas do local de instalação do sistema.
- d) Especificar dos componentes e projetos de instalação, operação e manutenção do sistema de aquecimento solar e complementar para atendimento da demanda de água quente.

5.3 Dimensionamento da área coletora

Para o dimensionamento da área coletora, primeiramente deve-se definir qual coletor solar será instalado para saber suas dimensões. Além disso, duas outras variáveis devem ser calculadas: a inclinação das placas em relação a horizontal e distância entre placas e obstáculos verticais para evitar sombreamento, como parapeitos, caixas d'água, reservatórios, outras edificações, entre outras.

A inclinação da placa em relação a vertical (β) será definida como a latitude do local (Φ), acrescida em 10° , como apresentado no capítulo 4.2.3 Instalação dos Coletores Solares.

A declinação solar, posição angular do sol ao meio dia no meridiano local em relação ao plano do Equador em um dia específico do ano, pode ser descrita pela equação (9), onde N é o número de dias transcorridos desde primeiro de janeiro até a data calculada.

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + N}{365}\right) \quad (9)$$

O ângulo horário, deslocamento angular do sol em relação ao meio dia, sendo acrescido em 15° a cada hora posterior ao meio dia e decrescido de 15° a cada hora anterior ao meio dia, tendo seu valor ao meio dia igual a 0° .

Para calcular o ângulo entre o raio de sol e a horizontal em um determinado local, em um dia do ano e horário específico, usamos a equação (10) e exemplificado na Figura 27.

$$\sin \alpha_s = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (10)$$

Figura 27 - Angulação das placas

Fonte: Elaborado pelo autor

Para dimensionar a sombra dos coletores que não variam de inclinação, adotamos um dia e horário de referência para seu dimensionamento. No hemisfério sul, onde o inverno se inicia geralmente no dia 21 de junho ($N = 171$), para dimensionamento, utiliza-se esse dia para determinar a declinação solar ao meio dia, como parâmetro de ângulo horário. Assim podemos adotar $\delta = 23,45^\circ$, conforme Equação (9) e $\omega = 0^\circ$ (ângulo horário ao meio dia).

Com ângulo de instalação da placa em relação a horizontal e as dimensões dos coletores conhecidas, é possível saber a altura que o coletor ficará em relação a horizontal, bem como sua projeção horizontal com relações trigonométricas básicas de senos e cossenos, como indicado na Figura 27.

Sabendo-se o ângulo α_s , a distância entre os coletores é a razão entre a altura do coletor em relação a horizontal e a tangente do ângulo α_s , caso haja a necessidade de calcular a distância do coletor para algum outro obstáculo, o princípio é o mesmo, basta calcular a razão entre a altura do obstáculo e a tangente do ângulo α_s .

Conhecendo as dimensões, inclinações e distâncias entre as placas, bem como a área disponível para a instalação é possível calcular o número de placas máximas que o local de instalação comporta, com isso, calcular a área coletora multiplicando o número de coletores totais que podem ser instalados pela área de cada coletor.

5.4 Dimensionamento do sistema de aquecimento solar

A norma brasileira de aquecimento solar de água, a ABNT NBR 15569/2008 sugere duas metodologias de cálculo para o dimensionamento do sistema de aquecimento solar.

O primeiro, traduzido pela norma como metodologia “Carta F” (original do inglês “f-chart”), foi desenvolvido por Duffie e Beckman (2013) e está apresentado com maiores detalhes no item 5.6 Metodologia da “Carta F”.

O segundo método de dimensionamento apresentado na norma brasileira é um modelo derivado do primeiro, porém com simplificações para ser adotado no dimensionamento do sistema em residências unifamiliares, o que não está no escopo deste trabalho.

Além destas duas metodologias que são apresentadas na norma nacional, existem outras formas de se dimensionar o sistema de aquecimento solar de água. Uma outra metodologia que vale ser destacada é o processo de simulação.

No ramo da simulação, o programa mais utilizado e conhecido é o simulador de processos térmicos TRNSYS. Projetado originalmente para ser aplicado apenas para questões envolvendo energia solar, mas que vem sendo utilizado para diversos processos térmicos.

Apesar de ser um programa bastante confiável e potente, principalmente com a ajuda de computadores cada vez mais rápidos e eficientes, decidiu-se não utilizar esse método para este estudo pelo fato de ser um programa muito robusto para as aplicações nesse caso e pelos problemas referentes às incertezas dos dados de entrada na modelagem, que poderiam gerar incertezas que não garantiriam um resultados mais precisos que os obtidos por outros métodos de projetos não computacionais observados na prática no estudo de caso real.

5.5 Métodos de projeto

Os métodos para projetar os processos térmicos solares podem ser classificados de acordo com a forma que os cálculos podem ser feitos em três categorias. Diferente das simulações, esses métodos não fornecem informações sobre a dinâmica do processo, apenas estimativas anuais dos

resultados finais, o que já é suficiente para a elaboração do estudo de caso proposto como escopo do trabalho.

A primeira categoria se aplica sobre sistemas em que as temperaturas de operação do coletor são conhecidas, ou ao menos estimadas pela base histórica de temperatura e radiação solar e em quais níveis críticos esses parâmetros podem ser estabelecidos. Como exemplo o método da “utilizabilidade horária” que emprega os dados climáticos de hora em hora para obter a fração da radiação total do mês que está acima do nível crítico.

A segunda categoria, que tem como exemplo a metodologia da “Carta F”, desenvolvida por Klein, Beckman e Duffie, são as metodologias que utilizam correlações de um grande número de simulações detalhadas (DUFFIE; BECKMAN, 2013).

Por fim, a terceira categoria é composta pelos métodos baseados em atalhos nas simulações, ou seja, são usados dias significativos de dados meteorológicos. Os dados obtidos por essa metodologia estão relacionados a períodos mais longos de análise, imaginando cenários a longo prazo. Esse método é importante para um estudo prévio para a viabilidade do projeto por sua simplicidade, entretanto para um resultado mais próximo do real, se faz necessário a utilização de alguns dos métodos das duas primeiras categorias. Como exemplo de um método desta categoria, pode ser citado o SOLCOST, que simula um dia ensolarado e outro nublado e então pondera os resultados de acordo com a nebulosidade média local para obter uma estimativa mensal do desempenho do sistema.

5.6 Metodologia da “Carta F”

A “Carta F” é uma metodologia que estima o desempenho térmico anual de um sistema de aquecimento ativo para um edifício utilizando como fluído de trabalho ar ou algum líquido, que para o objeto de estudo é a água que será consumida pelo usuário final.

O método é uma correlação dos resultados obtidos através de diversas simulações realizadas sobre o desempenho térmico de sistema de aquecimento solar e com ele, é possível estimar a fração do calor acumulado

ao sistema pela incidência solar para um determinado sistema de aquecimento solar.

Diversos fatores são levados em consideração na elaboração do método como por exemplo: o tipo de coletor, capacidade de armazenamento, vazão, tamanhos do acumulador e trocador de calor e a variável principal, a área do coletor. Além disso, para que o método funcione, a temperatura mínima de energia fornecida ao sistema deve ser de 20°C e os parâmetros devem estar dentro dos indicados na Tabela 4.

Tabela 4 - Intervalo dos parâmetros para o uso do método da "Carta F"

$0.6 \leq (\tau\alpha)_n \leq 0.9$
$5 \leq F'_R A_c \leq 120\text{m}^2$
$2.1 \leq U_L \leq 8.3 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$
$30 \leq \beta \leq 90^\circ$
$83 \leq (UA)_h \leq 667 \text{ W/}^\circ\text{C}$

Fonte: Adaptado de Duffie e Beckman (2013)

Onde:

$(\tau\alpha)_n$ - produto de transmitância e absorção diário;

$F'_R A_c$ - produto de fator de eficiência do trocador de calor e área do coletor;

U_L - coeficiente de perda global do coletor;

β - inclinação do coletor;

$(UA)_h$ - produto horário de coeficiente de transferência de calor global e área;

Para chegar nas condições das simulações, foram utilizados projetos de sistemas práticos com diversos intervalos e correlações que resultaram em 'f', a fração mensal solar, uma função de dois parâmetros adimensionais; X e Y. X é a razão entre as perdas do coletor e o calor acumulado, enquanto Y é a razão entre a radiação solar incidente e o calor acumulado. Um exemplo de gráfico com a relação desses dois parâmetros pode ser observado na Figura 28.

Figura 28 - Carta F de um sistema usando um fluido líquido

Fonte: Adaptado de Duffie e Beckman (2013)

Simulações desses sistemas geraram correlações entre as variáveis adimensionais X e Y, além de f, a fração mensal solar, que podem ser descritas pelas equações (11) e (12):

$$X = \frac{A_c F'_R U_L (T_{\text{ref}} - \bar{T}_a) \Delta t}{L} \quad (11)$$

$$Y = \frac{A_c F'_R (\overline{\tau\alpha}) \bar{H}_T N}{L} \quad (12)$$

Essas duas equações podem ser reescritas de uma outra forma que pode simplificar sua resolução quando se sabe o valor da relação $\frac{F'_R}{F_R}$

$$X = F_R U_L \times \frac{F'_R}{F_R} \times (T_{\text{ref}} - \bar{T}_a) \times \Delta t \times \frac{A_c}{L} \quad (13)$$

$$Y = F_R (\tau\alpha)_n \times \frac{F'_R}{F_R} \times \frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n} \times \bar{H}_T N \times \frac{A_c}{L} \quad (14)$$

Onde:

A_c - área coletora (m^2);

$\frac{F'_R}{F_R}$ - fator de eficiência do trocador de calor do coletor;

U_L - coeficiente de perda global do coletor ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$);

Δt - número total de segundos no mês;

T_a - temperatura ambiente média mensal ($^\circ C$);

T_{ref} - temperatura de referência derivada empiricamente ($100^\circ C$);

L - calor acumulado mensal total para aquecimento de ambientes e água quente (J);

HT - radiação diária média mensal incidente na superfície do coletor por unidade de área (J/m^2);

N - dias no mês;

$(\tau\alpha)$ = produto de absorção de transmitância média mensal;

Para sistemas no qual é usado um líquido como fluído, a fração f pode ser descrita pela Equação (15):

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3 \quad (15)$$

Resolvendo-se essa equação, encontra-se a fração solar do sistema de aquecimento solar para um determinado mês do ano, de acordo com os dados utilizados para determinação das variáveis X e Y . Para determinar o fator solar anual F , pela Equação (16):

$$F = \frac{\sum f_i L_i}{\sum L_i} \quad (16)$$

Onde para cada mês i do ano, calcula-se a fração mensal f_i e a demanda mensal de energia térmica L_i .

A metodologia da “Carta F” apresentada em (DUFFIE; BECKMAN, 2013) sugere duas correções para as variáveis X e Y para refinar o resultado.

A primeira delas, descrita como X' é mais simples de ser descrita que a variável X apresentada na metodologia da “Carta F”, porém, a variável Y precisa ser

correlacionada a um fator de utilizabilidade diária, na qual seu valor é mais complexo de ser calculado. Além disso, para se chegar no fator f , é necessário a utilização de um método iterativo como o Método de Newton. Devido a dificuldade prática para o uso, essa correção não será aplicada nesse estudo.

A segunda correção, descrita como X/X_c , indicada para sistemas diretos apresenta uma equação para correção da variável X que aumenta o valor dessa variável no cálculo do fator f , porém, seu efeito é pequeno e a fórmula empírica apresentada vale apenas para uma distribuição de uso específico de um dia típico em uma residência. Como para uso em edifícios residenciais de múltiplos pavimentos a distribuição do uso é mais difusa, o uso dessa correção não se faz necessário.

6 MÉTODO DE ANÁLISE DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO

Para analisar a viabilidade de implantação de um sistema de aquecimento solar de água em um edifício residencial vertical, este trabalho propõe um método que pode ser aplicado tanto em edifícios na fase de projeto até edifícios já concluídos e entregues aos usuários finais.

O método consiste em uma verificação em sete etapas, que pode ser usado como um roteiro para implantação e uso eficiente do sistema de aquecimento solar de água e essas etapas estão representadas no fluxograma da Figura 29.

Figura 29 - Fluxograma do método de análise de viabilidade de implantação

Fonte: Elaborado pelo Autor

6.1 Identificar localização do edifício e condições climáticas

A primeira etapa consiste em localizar a edificação em sua região geográfica e determinar as condições climáticas como temperaturas médias anuais e radiação solar global média anual para, assim, determinar os valores necessários para os posteriores cálculos de demanda e dimensionamento do sistema. Essa etapa é importante para determinar qual a necessidade de água quente, uma vez que a mesma varia de região para região. A população das regiões de clima mais frio como sul e sudeste tem hábito de tomar banhos mais quentes do que a população de regiões de clima mais quente do Brasil, como norte e nordeste (PROCEL 2007).

6.2 Identificar as características da edificação e sua população

Após identificar a localização da edificação, deve-se conhecer melhor o objeto de estudo, avaliar as características do edifício como a orientação geográfica, infraestrutura da região para fornecimento de água, energia elétrica e gás encanado, área de cobertura ou outras áreas mais propensas à instalação do sistema de aquecimento solar de água, bem como seu sistema de apoio, nos casos de edifícios já construídos, possibilidade de reformas estruturais e adequações com regimentos internos do condomínios e legislações federais, estaduais e municipais. Quanto à população do condomínio, deve-se fazer um levantamento do número de frequentadores e usuários diários, o perfil dos usuários e a faixa de renda dos ocupantes do imóvel, uma vez que quanto maior a renda familiar, maior o consumo médio de água per capita (DIAS; MARTINEZ; LIBÂNIO, 2010), conforme Figura 30.

Figura 30 - Relação entre renda e consumo de água

Fonte: Adaptado de Dias, Martinez e Libânio (2010),

6.3 Avaliar viabilidade técnica para a instalação do sistema

Diferente das duas primeiras etapas, na qual todo o procedimento pode ser feito remotamente apenas com as informações passadas pelo interessado na instalação do sistema, essa nova etapa necessita de uma visita técnica ao edifício, quando o mesmo já se encontra em obra ou concluído ou ao terreno em caso de projetos ainda não executados para uma análise das estruturas já existentes e uma análise da vizinhança. Ainda nessa etapa, as verificações

preliminares para a avaliação das condições iniciais e viabilidade técnica de instalação do sistema de aquecimento solar, do “anexo F” da norma NBR 15.569 deve ser utilizada, conforme já apresentadas neste trabalho, no item 5.2 Viabilidade para instalação do sistema de aquecimento solar.

6.4 Definir, dimensionar e projetar o sistema de aquecimento de apoio

Após avaliar a viabilidade da instalação, a próxima etapa é calcular a demanda de água quente e dimensionar o sistema de aquecimento de apoio, que deve ser capaz de atender a demanda de água quente do edifício, de modo independente do sistema de aquecimento solar. Para esse sistema de apoio, duas soluções podem ser adotadas, o aquecimento a gás ou por energia elétrica. Em caso da adoção de um sistema com o uso de aquecimento a gás, atentar-se para a norma ABNT-NBR16057/2012 – Sistema de aquecimento de água a gás (SAAG) – Projeto e instalação. Para aquecimento da água por energia elétrica, consultar ABNT-NBR14011/2015 – Aquecedores instantâneos de água e torneira elétricas, sempre observando a ABNT-NBR 7198/1993 – Projeto e execução de instalações prediais de água quente.

Para ambos, deve-se considerar as perdas térmicas do sistema, que pelas grandes distâncias de um sistema coletivo em edifícios verticais de muitos andares, são bastante significativas.

6.5 Projetar e dimensionar o sistema de aquecimento solar

Nessa etapa, aconselha-se fazer uma boa análise de projetos estruturais, arquitetônicos, elétricos e hidráulicos para otimizar o sistema de aquecimento, minimizando as reformas nos casos de edifícios já executados e visando menores distâncias das tubulações para reduzir as perdas térmicas no transporte da água quente do reservatório até o ponto de consumo.

Nessa etapa também deve-se realizar o projeto de operação e manutenção do sistema, com a criação de um manual de utilização que deve ser entregue ao gestor predial quando da entrega do sistema após a instalação.

Com o projeto concluído, é preciso dimensionar o sistema de aquecimento solar e a integração com o sistema complementar.

Para o dimensionamento do sistema de aquecimento solar de água, sugere-se a utilização da metodologia da “Carta F” desenvolvida por Klein, Beckman e Duffie, e metodologia descrita no item 5.6 Metodologia da “Carta F” deste texto.

6.6 Analisar custos de instalação, operação e manutenção

Com o dimensionamento e projeto concluído, a próxima etapa a ser realizada é orçar os componentes do sistema de aquecimento solar de água, o sistema complementar, mão de obra para reformas e instalações e os outros custos associados como, por exemplo, reformas para passagem de tubulação em edifícios já executados, instalações elétricas para bombas e outros componentes, custos com as modificações de projeto necessárias para a adequação do sistema em empreendimento ainda não iniciados, entre outros. Além dos custos de instalação, nessa etapa é necessário também provisionar os custos que serão usados para manter o sistema em operação eficiente quando o mesmo for entregue a administração do condomínio e os custos para a manutenção e limpeza periódica dos componentes.

6.7 Analisar viabilidade econômica da implantação do sistema

Com os projetos e orçamento finalizados, a próxima etapa é fazer uma análise da viabilidade financeira por parte do condomínio, quando a obra já entregue aos usuários finais ou por parte da construtora e incorporadora quando ainda em fase de produção ou projeto. Nessa etapa, devem ser levados em conta os custos de instalação, operação e manutenção e compará-los com a economia gerada pela implantação do sistema de aquecimento solar de água e estimar o tempo de retorno do investimento.

7 ESTUDO DE CASO

O objeto de estudo é composto por um empreendimento de uma torre, com 16 pavimentos tipos mais um subsolo e outro sobressolo usados como pavimentos de garagem e entrada social. O projeto consiste em nove apartamentos por pavimento até o 12º pavimento tipo e então há uma diminuição da projeção e do 13º ao 16º andar, conta com seis apartamentos por pavimento.

Na transição do 13º pavimento, há uma área de três apartamentos que pode ser usada para a instalação de coletores solares, além deste espaço, no topo do prédio não há previsão de cobertura sobre a laje, podendo o espaço ser ocupado também por coletores solares e toda a infraestrutura necessária para o aquecimento da água e seu correto armazenamento.

A Figura 31 mostra a planta do pavimento de transição no 13º pavimento, bem como sua orientação geográfica.

Figura 31 - Planta da transição com a indicação do norte geográfico

Fonte: Elaborada pelo Autor

As Figura 32 e Figura 33 mostram, com um pouco mais de detalhes, as áreas disponíveis para possível instalação dos coletores, tanto na transição do 13º pavimento (Figura 32) quanto na cobertura do edifício (Figura 33).

Figura 32 - Laje impermeabilizada na transição do 13º pavimento

Fonte: Elaborada pelo Autor

Figura 33 - Laje impermeabilizada na cobertura do edifício

Fonte: Elaborada pelo Autor

O edifício é composto por 132 unidades de apartamentos residenciais, sendo eles divididos em 56 apartamentos de dois dormitórios e 76 apartamentos de um ou nenhum dormitório (apartamentos com dormitório e sala integrada, comercialmente conhecidos como apartamentos “studios”).

Composto por nove tipologias diferentes, as áreas dos apartamentos variam de 29,91m² até o maior com 55,55m².

Por serem apartamentos pequenos, foi adotado para os cálculos uma ocupação de 1,5 pessoas por apartamento de um dormitório ou “studios” e 3 pessoas por apartamento de dois dormitórios, somando um total de 282

peçoas, 168 peçoas em apartamentos de dois dormitórios e 114 peçoas em apartamentos de um dormitório ou “studios”.

A concepção atual do sistema, como foi aprovado na prefeitura municipal de São Paulo, conta com um reservatório inferior de 37,45m³ e dois reservatórios superiores de 37,73m³ cada, totalizando 75,46m³.

Dos reservatórios superiores, localizados no barrilete, acima do 16º pavimento, desce duas prumadas de água fria. Uma delas responsável por servir os hidrantes do sistema de incêndio, a outra prumada responsável pela distribuição da água fria para todas as unidades autônomas, pontos de água para uso comum e limpeza predial.

Em cada pavimento tipo há a derivação para seis ou nove ramais, dependendo do número de unidades autônomas do pavimento, sempre com uma derivação independente para cada unidade, onde é possível a instalação do hidrômetro para a medição do consumo de água fria de cada apartamento, como mostra a Figura 34.

Figura 34 - Vista shaft do 2º ao 12º pavimento tipo

Fonte: Elaborada pelo Autor

Após passar pelo shaft, a tubulação de água fria será instalada pelo teto do hall, protegida por uma sanca de gesso e seguirão até a unidade autônoma. A água fria então passa pelo registro geral que fica dentro do apartamento e antes de ir para os pontos onde haja demanda de água quente, passa pelo aquecedor a gás de passagem em um sistema de aquecimento central privado. O aquecedor a gás não é instalado pela construtora, apenas a infraestrutura para a instalação e seu uso, cabendo ao usuário final a escolha, instalação, manutenção e correta utilização do aquecedor.

Dentro de cada unidade autônoma, há uma prumada de gás e uma ramificação para área de serviço. Dessa ramificação, é instalado um pequeno cavalete com a previsão de instalação de um medidor de gás para bilhetagem do consumo individualizado, porém no ato de entrega do condomínio, tanto a água quanto o gás são coletivos, cabendo ao condomínio a realização de sua individualização, essa que já está prevista em projeto e sua infraestrutura preparada para tal processo.

Com essas características, não pode ser medido o consumo de água quente de uma forma direta, uma vez que só pode ser medido o consumo de água fria e do gás que entra no apartamento. Enquanto a água que entrou no apartamento pode ter sido usada tanto fria quanto quente, o consumo do gás também não difere a quantidade que foi usada para aquecimento da água ou a quantidade usada na cocção de alimentos.

7.1 Análise de viabilidade

O método de análise de viabilidade de implantação para o sistema de aquecimento solar de água será aplicado no objeto de estudo de caso, seguindo as sete etapas, conforme descrito no Capítulo 6.

7.1.1 Localização do edifício e condições climáticas

Na primeira etapa, deve-se localizar o objeto de estudo e suas características climatológicas. O edifício está localizado na cidade de São Paulo, na região sudeste do país, com clima mais frio e população com o hábito de banhos quentes regulares durante todas as estações no ano, principalmente no inverno, onde as temperaturas são menores (PROCEL 2007).

Dados climatológicos obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para a cidade de São Paulo no Mirante de Santana, estação meteorológica mais próxima do endereço do edifício, mostram que a média da temperatura mensal varia de 23,2°C em fevereiro, mês mais quente do ano, até 16,7°C no mês mais frio do ano, julho.

A média anual compensada é de 20,1°C, a temperatura mínima média anual é de 16,2°C e a temperatura máxima média anual é de 25,7°C. Os valores mensais médios e recordes podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5 - Dados climatológicos para São Paulo.

Dados climatológicos para São Paulo (Mirante de Santana), Temperatura em °C												
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temp. máx. recorde	37,0	36,4	34,3	33,4	31,7	28,8	30,2	33,0	35,5	37,8	35,3	34,8
Temp. máx. média	28,2	28,8	28,0	26,2	23,3	22,6	22,4	24,1	24,4	25,9	26,9	27,6
Temp. média comp.	22,9	23,2	22,4	21,0	18,2	17,1	16,7	17,7	18,5	20,0	21,2	22,1
Temp. mín. média	19,3	19,5	18,8	17,4	14,5	13,0	12,3	13,1	14,4	16,0	17,3	18,3
Temp. mín. recorde	11,9	12,4	12,0	6,8	3,7	1,2	0,8	3,4	3,5	7,0	7,0	10,3

Fonte dos dados: INMET, tabela elaborada pelo autor

A radiação solar média anual também deve ser levantada. O Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB), instalado no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), oferece em seu sítio eletrônico uma ferramenta com o nome de “SunData”, na qual é possível informar a localização por meio de coordenadas geográficas e obter os valores de irradiação solar diária média mensal das estações de medições mais próximas, em função da inclinação dos coletores. Para o objeto do estudo de caso, de coordenadas 23,553601° S e 46,62221° O, os valores de irradiação solar diária média mensal estão destacados na Figura 35.

Figura 35 - Irradiação solar diária média mensal

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: São Paulo
 Município: São Paulo, SP - BRASIL
 Latitude: 23,601° S
 Longitude: 46,649° O
 Distância do ponto de ref. (23,553601° S; 46,62221° O): 5,9 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	5,22	5,46	4,68	4,13	3,42	3,15	3,26	4,18	4,20	4,70	5,16	5,67	4,43	2,52
✓	Ângulo igual a latitude	24° N	4,72	5,19	4,81	4,68	4,23	4,10	4,14	4,97	4,46	4,58	4,72	5,04	4,64	1,09
✓	Maior média anual	21° N	4,81	5,26	4,83	4,64	4,16	4,01	4,06	4,91	4,45	4,63	4,81	5,14	4,64	1,25
✓	Maior mínimo mensal	34° N	4,36	4,90	4,69	4,73	4,41	4,34	4,35	5,11	4,40	4,37	4,39	4,62	4,56	,77

Fonte: CRESESB. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/sundata>>. Acesso em 12 nov. 2019

Nota-se que com a inclinação de maior mínimo mensal, a média anual de irradiação é 0,1 kWh/m².dia menor que o ângulo de maior média anual, porém, tem as vantagens de ter uma menor diferença entre os meses de maior e menor irradiação (Delta) e ter maiores valores nos meses de inverno, comparado as outras inclinações.

7.1.2 Características da edificação e sua população

Na segunda etapa é levantado as características da construção e o perfil dos usuários. O edifício analisado, como já apresentado anteriormente, é composto por uma torre única, de 16 andares com 132 apartamentos. A torre tem uma de suas fachadas orientada para o norte, o que otimiza a instalação das placas solares, que ficarão voltadas para essa face.

A edificação fica localizada em uma região da cidade já bem urbanizada e com redes de água, esgoto sanitário, telefonia, energia elétrica e distribuição de gás natural canalizado já disponíveis no endereço da obra.

Apesar de urbanizada, a região é composta basicamente por casas antigas de poucos andares e galpões industriais. Nenhum dos vizinhos próximos tem

construção com altura superior a 10 metros, assim, não há interferência de edificações adjacentes que possam sombrear os painéis solares.

O objeto de estudo é um edifício ainda em fase de projeto, ainda não construído, por isso, não há interferências construtivas, legais ou de regimentos internos do condomínio que impeçam a instalação do sistema de aquecimento solar de água.

Outro fator que deve levantado é a população do condomínio, perfil do usuário e faixa de renda. O projeto técnico entregue e aprovado pelo Corpo de Bombeiro da Polícia Militar do Estado de São Paulo estima a população do condomínio em 282 pessoas, por isso, esse será o valor utilizado no dimensionamento posterior.

O empreendimento vem sendo vendido com financiamento da Caixa Econômica Federal, dentro do programa Minha Casa, Minha Vida do Governo Federal que traz uma série de facilidades ao comprador como taxas de juros menores que os bancos particulares e subsídios de acordo com a faixa de renda declarada pelo cliente. Por isso, é plausível supor que a população do empreendimento será composta por pessoas da classe “C”, que tem um consumo de água residencial inferior às pessoas da classe “A” mas superior as da classe “D” e “E”, conforme já mostrado na Figura 30.

7.1.3 Avaliação da viabilidade técnica para a instalação do sistema

Para a avaliação da viabilidade técnica, conforme indicado na terceira etapa do método, será usado como diretriz o “anexo F” da NBR 15.569.

Das doze verificações propostas no anexo da norma, os quatro primeiros são referentes a verificações de características do edifício já construído como localização e estado de conservação de tubulações, fontes de energia elétrica e espaço físico adequado para instalação dos componentes do sistema. Por se tratar de uma nova edificação, esses itens devem ser observados em uma análise de projeto de todo o edifício, mas principalmente na cobertura, onde será instalado os componentes.

As duas próximas verificações são referentes a orientação e possíveis obstáculos que possam causar sombreamento no local de instalação das

placas. Como já analisado no subitem anterior, o edifício não possui obstáculos e está orientado para o norte.

As quatro verificações seguintes são voltadas para instalação do sistema. Como exemplo, podemos citar o acesso ao local de instalação, tanto pela equipe de instaladores, quanto aos componente e posteriormente, a equipe de manutenção desse sistema, também é nessa fase que deve-se verificar se a estrutura suporta o peso dos componentes não só na fase de instalação, mas principalmente durante o uso, o qual a carga do sistema será maior pelo peso da água. Após essas verificações, deve-se identificar os materiais utilizados e seus fornecedores. No estudo de caso, por ainda estar em fase de projeto, esses cuidados também devem ser tomados durante a análise de projeto.

A penúltima verificação é de pressão no ponto do sistema de aquecimento solar que deve ser compatível com os produtos a serem instalados. Mais uma vez, essa verificação deve ser feita em fase de análise de projeto, por se tratar de um edifício ainda não construído e não sendo possível verificar a pressão no ponto de alimentação do sistema.

Por fim, verifica-se a qualidade do abastecimento de água fria, e como a obra está localizada em um local urbanizado e com rede de água fria fornecida pela SABESP de modo regular, pode-se assumir que a qualidade do fornecimento será atingida.

Com as verificações anteriores, foi possível comprovar que a viabilidade técnica pode ser atingida para esse empreendimento desde que o sistema de aquecimento solar de água seja considerado durante a análise de projeto.

O dimensionamento e o projeto do sistema após a análise de projeto para o objeto do estudo de caso serão apresentados posteriormente, no item 7.1.5 Projeto e dimensionamento do sistema de aquecimento solar.

7.1.4 Definição, dimensionamento e projeto do sistema de aquecimento de apoio

Seguindo o método proposto, na quarta etapa é onde define-se as características do projeto de aquecimento de água e realiza-se seu dimensionamento e projeto.

Pelas características do edifício e sua população, foi definido que os apartamentos HIS (Habitação de Interesse Social) serão abastecidos pelo sistema central coletivo com apoio do sistema de aquecimento solar de água. Os apartamentos HMP (Habitação de Mercado Popular), localizados nas extremidades dos pavimentos e com valor de mercado maior, não serão abastecidos pelo sistema central coletivo de aquecimento de água, mas sim por um sistema central privado de passagem a gás.

A decisão pela escolha de abastecer apenas os apartamentos HIS pelo sistema central coletivo foi tomada por dois motivos. O primeiro, pela distância entre a prumada central, localizada no hall próximo aos elevadores, até o banheiro dos apartamentos HMP do lado norte do edifício, que teria como consequência maior perda de temperatura da água devido as trocas térmicas entre a tubulação e o ambiente. O segundo motivo é a motivação social da proposta. Preferiu-se entregar um resultado mais eficiente da perspectiva de economia gerada ao usuário final para um número menor de apartamentos, mas todos HIS, ao invés de gerar uma economia menor para todos os apartamentos, tanto HIS quanto HMP.

Os apartamentos HIS são os de cor verde e os HMP são os de cor vermelha na Figura 36. Os apartamentos HMP estão mais distantes do ponto onde será distribuída a água quente, a área destacada em amarelo no hall. Essas distâncias, que passam de 30 metros para o banheiro do apartamento de final 9, na parte superior da Figura 36 sofreria uma perda de calor no ramal bastante considerável, o que reduz o rendimento do sistema.

Portanto, para os apartamentos HMP, todos com 2 dormitórios e de finais 2, 3, 8 e 9, o sistema de aquecimento de água adotado será o Central Privado de Passagem, e sua instalação e manutenção será de responsabilidade do proprietário e moradores da unidade autônoma. Para os apartamentos HIS, todos com 1 dormitório e de finais 1, 4, 5, 6 e 7, o sistema de aquecimento de água adotado será o Central Coletivo Solar com Apoio a Gás.

Figura 36 - Pavimento tipo do 1º ao 12º andar

Fonte: Elaborada pelo Autor

Após a transição do 13º pavimento, comparando com o pavimento tipo dos andares inferiores, não há mais os apartamentos de finais 7, 8 e 9 e o apartamento de final 6 sofre uma alteração para atender portadores de necessidades especiais.

Apesar das mudanças, os apartamentos de final 2 e 3 continuam sendo apartamentos HMP e os de finais 1, 4, 5 e 6 continuam sendo apartamentos HIS. Por esse motivo, os sistemas de aquecimento de água mantêm o padrão dos andares inferiores.

A Figura 37 mostra o pavimento tipo após a transição do 13º andar com mais detalhes e a tubulação de água quente em vermelho.

O Sistema Central Coletivo foi concebido com a seguinte estrutura, esquematizada na Figura 38.

Figura 38 - Esquema do sistema central coletivo de aquecimento de água

Fonte: Adaptado de Confortec. Disponível em: <<https://confortec.com.br/sistemas-de-aquecimento-de-esquentar-tambem-economizar/aquecim-coletivo-com-aquecedor-circ-fechado>>. Acesso em 12 nov. 2019

Na cobertura do edifício, a caixa d'água fornece água fria para o primeiro reservatório, lá a água é previamente aquecida por um sistema de aquecimento solar e então passa para o segundo reservatório. Nesse reservatório, a água é aquecida até 55°C, temperatura que será atingida com o auxílio de aquecedores de passagem a gás instalados próximos do segundo reservatório, em um sistema conjugado. Do segundo reservatório, a água é distribuída pelo ramal principal que passa pelo hall de todos os pavimentos tipo. Quando o usuário aciona o ponto de utilização, a água quente passa pelo medidor de vazão para bilhetagem do sistema instalado no hall e segue para o apartamento do usuário pela tubulação em vermelho na Figura 37. A água que fica no sistema é circulada mecanicamente por bombas hidráulicas e volta para o primeiro reservatório, para ser aquecida novamente.

Para dimensionar a quantidade de aquecedores de passagem, bem como o volume do reservatório, será usado o “Anexo C” da ABNT NBR 16057:2012 Sistema de Aquecimento de Água a Gás (SAAG) — Projeto e Instalação, como já demonstrado nas equações apresentadas anteriormente no item 5.1 Dimensionamento do Sistema de Aquecimento de Apoio.

Para dimensionar o volume a ser armazenado, alguns parâmetros devem ser definidos. Por se tratar de um empreendimento localizado na cidade de São Paulo, a temperatura da água fria será considerada 20°C, a temperatura de armazenamento será de 55°C e a temperatura de consumo na ducha de 40°C. O tempo médio do uso do chuveiro adotado é de 10 minutos com uma vazão da ducha de 12 litros por minuto. Como a população do edifício que será atendida pelo Sistema Central Coletivo de aquecimento de água é de 114 pessoas, temos um consumo diário estimado em 13.680 litros de água na temperatura de uso no banho por dia, sem previsão de uso de água quente em outros pontos de utilização.

Utilizando a equação (2) para calcular o volume diário consumido de água quente armazenada, tem-se um valor de aproximadamente 7.820 litros de água a 55°C por dia, conforme mostra a equação (17).

$$V_{diário} = \frac{13.680 \text{ l} \times (40^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C})}{(55^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C})} = 7.817,14 \text{ l} \quad (17)$$

A partir desse volume e utilizando o gráfico da Figura 26 - Fator de simultaneidade do consumo de água quente, tem-se o volume no horário de pico de aproximadamente 4.000 litros, conforme ilustra a Figura 39.

Figura 39 - Fator de simultaneidade do consumo de água quente do estudo de caso

Fonte: Adaptado de INMETRO (2012)

Com esse volume de pico e adotando um fator de armazenamento de 1/4, conforme Tabela 3, obtém-se um valor de armazenamento de 1.000 litros.

Com a Equação (5), tem-se que o volume necessário para recuperação do sistema na hora de pico é a diferença entre o volume armazenado e o de pico, totalizando 3.000 litros. Com o volume de recuperação e a Equação (6), chega-se a potência útil dos aquecedores, que neste estudo de caso, totalizou 122,1 kW, desconsiderando as perdas no sistema. Os valores obtidos nas equações utilizadas para esses valores estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6 - Volume de armazenamento e potência útil

Equações	Cálculo	Resultado
$V_{armaz} = V_{pico} \times F_{armaz}$	4000 x 1/4	1000 litros
$V_{recup} = V_{pico} - V_{armaz}$	4000 - 1000	3000 litros
$Q = \frac{V_{recup} \times c \times (T_{armaz} - T_{água\ fria})}{860}$	$\frac{3000 \times 1 \times (55 - 20)}{860}$	122,1kW

Fonte: Elaborado pelo autor

O pré-dimensionamento da prumada, utilizando a Equação (7) para definição do diâmetro da tubulação e uma vazão de pico de 4.000 litros por hora, que representa 0,00111 m³/s, obtém-se diâmetro mínimo de 21,71mm conforme equação

(18), muito próximo do diâmetro nominal de ¾" que é DN 22. Pela proximidade, será adotado o diâmetro maior mais próximo, que é o de 1", DN 28, valores para uma tubulação em CPVC.

$$D_{\text{MÍN}} = \sqrt{\frac{4Qp}{\pi V_{\text{MAX}}}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,00111 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \times 3 \text{ m/s}}} = 21,71 \text{ mm} \quad (18)$$

O CPVC foi escolhido como material para a tubulação, pois tem um bom isolamento térmico, assim como o PP-R, em comparação com as tubulações de cobre e aço galvanizado, mas tem a vantagem em relação ao PP-R de ser mais fácil de trabalhar na obra por não depender de ferramentas específicas para a termo fusão da tubulação.

Definido o material, é possível calcular a perda térmica da tubulação a ser instalada, utilizando os catálogos dos fabricantes e a Equação (8). A condutividade térmica do CPVC é de 0,137 kcal/h.m.°C. Considerando a distância do barrilete até o subsolo, que é de 51,50 m, vamos adotar o comprimento total da tubulação de 120 metros, contemplando a rede de distribuição, a rede de recirculação e mais 17 metros para casa de máquinas e outras conexões como ligação do reservatório até distribuição, entre outros. O perímetro da tubulação de 1" é de 0,0088m e sua espessura é de 0,0025m. A diferença de temperatura média é de 35°C, com esses dados, temos um fluxo de calor por condução de 2025,41 kcal/h ou 2,355kW, conforme equação (19).

$$q = \frac{k \cdot A}{L} \cdot \Delta T = \frac{0,137 \text{ kcal/h.m.}^\circ\text{C} \times (120\text{m} \times 0,0088\text{m})}{0,0025\text{m}} \cdot 35^\circ\text{C} = 2025,41 \text{ kcal/h} \quad (19)$$

Para calcular a perda térmica dos reservatórios, no catálogo do fabricante e no site do INMETRO, é possível ter acesso ao valor da Perda Específica de Energia Mensal do reservatório (kWh/mês/l). Com esse índice, para 2 reservatórios de 500 litros cada, temos uma perda de 0,104kW por reservatório, totalizando 0,208kW.

Com esses dados, podemos definir o sistema de aquecimento de apoio com 2 reservatórios primários com capacidade para 4000 litros cada, que será abastecido pela água fria, água que retornará do sistema de recirculação e a água aquecida pelo sistema de aquecimento solar, 2 reservatórios secundários com 500 litros cada, mantidos a 55°C com auxílio de 4 aquecedores a gás de passagem, sendo 3 em pleno funcionamento e 1 de reserva, caso algum dos aquecedores de passagem pare de funcionar, com vazão de 32,5l/min, potência nominal de 53,7 kW e eficiência de 84%, totalizando uma potência útil de 3 aquecedores em 135,3 kW, potência instalada 8% maior que a calculada, somando as perdas térmicas do sistema que totalizou 124,67kW, conforme mostra Tabela 7.

Tabela 7 - Potência e perdas do sistema

	kW
Potência útil necessária	122,1
Perda térmica da tubulação CPVC	2,355
Perda térmica dos reservatórios	0,208
Total necessário	124,67
Potência nominal de cada aquecedor	53,7
Potência útil de cada aquecedor	45,11
Potência útil de 3 aquecedores	135,32

Fonte: Elaborado pelo autor

7.1.5 Projeto e dimensionamento do sistema de aquecimento solar

A quinta etapa do método consiste em projetar e dimensionar o sistema de aquecimento solar como complemento do sistema de aquecimento de apoio dimensionado e projetado na etapa anterior.

Inicialmente é preciso determinar o número de coletores que podem ser instalados no local indicado e a área coletora total do sistema, para isso,

definimos o coletor e quais as distâncias entre coletores ou outras barreiras físicas que possam causar sombreamento.

No estudo de caso, será utilizado coletores de 1,00m de largura por 2,00m de comprimento, totalizando uma área bruta de 2,00m² por coletor.

Utilizando as equações (9) e (10) do capítulo 5.3 Dimensionamento da área coletora, o ângulo de inclinação do coletor em relação a horizontal (β) é de 33,55°, já que a latitude local (Φ) é de 23,55°. Considerando o ângulo de incidência dos raios solares para o dia 21 de junho as 12h, temos um $\delta = 23,45^\circ$ e $\omega = 0^\circ$, assim, o ângulo de incidência dos raios solares (α_s) é de 43°. Os parâmetros adotados e calculados estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Parâmetros adotados e calculas para determinar ângulo e distâncias entre coletores

Parâmetros	Valores
Latitude local (Φ)	23,55°
Inclinação em relação a vertical (β)	33,55°
Número de dias transcorridos no ano (N)	171
Declinação solar (δ)	23,45°
Ângulo horário ao meio dia (ω)	0,00°
Ângulo de incidência dos raios solares (α_s)	43,00°

Fonte: Elaborado pelo autor

Com as dimensões do coletor e ângulos α_s e β conhecidas, podemos calcular por trigonometria os valores da projeção horizontal dos coletores e distância entre eles para evitar sombreamento de uma placa sobre outra. Para esse caso, a projeção horizontal do coletor é de 1,667m, altura de 1,105m e distância entre coletores de 1,185m, conforme detalhado na Figura 40.

Figura 40 - Distância entre coletores

Fonte: Elaborado pelo autor

No objeto do estudo de caso, os coletores poderão ser distribuídos em toda laje impermeabilizada no topo do prédio, conforme Figura 41.

Figura 41 - Laje impermeabilizada, teto do 16º pavimento

Fonte: Elaborado pelo autor

Além da distância entre placas, deve-se atentar também para a distância dos coletores para o guarda-corpo da face norte, cuja altura é de 1,20m, necessitando de uma distância até o coletor de 1,29m. Outra distância importante e bastante significativa é entre os coletores e o reservatório sobre o barrilete, que tem seu guarda corpo na cota 784,00, como o pavimento onde serão instalados fica na cota 777,30, tem-se uma altura de 6,70 m, assim, eles

válvula misturadora termostática, que garante uma temperatura máxima de consumo de 52°C que evita queimadura, e, então, fica a disposição do usuário para ser utilizada a essa temperatura ou misturada com água fria para temperatura mais amena para o banho.

A escolha da temperatura da água foi limitada inferiormente pelo valor que a propagação da bactéria *Legionella pneumophila*, não ocorra, sendo que essa propagação poderia causar uma forma severa de pneumonia. No limite superior, evitou-se temperaturas que causam escaldões e queimaduras em contatos de curto espaço de tempo. Por esses motivos, definiu-se que a temperatura de armazenamento da água nos reservatórios é de 55°C e uma temperatura máxima de 52°C, obtida com o auxílio de uma válvula misturadora termostática que limita a temperatura, no ponto de consumo.

Para o dimensionamento do sistema de aquecimento solar de água, foi utilizado a metodologia da “Carta F”, sugerida pela norma brasileira ABNT NBR 15569/2008 e seus conceitos, premissa e fórmulas foram apresentados anteriormente neste texto, no capítulo 5.6 Metodologia da “Carta F”.

Os dados necessários para o cálculo dos parâmetros adimensionais X e Y já foram calculados, são fornecidos pelo fabricante dos coletores solares ou podem ser definidos teoricamente.

$F_R U_L$ e $F_R (\tau\alpha)_n$ são dados do coletor e essa informação pode ser obtida em catálogos dos fornecedores ou pelo site do INMETRO. Para o coletor adotado, os valores para $F_R U_L$ e $F_R (\tau\alpha)_n$ são, respectivamente, 3,905 e 0,700. A área coletora foi calculada com base na área disponível para instalação dos coletores, a temperatura de referência é derivada empiricamente e tem o valor de 100°C. Esses valores fixos são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Parâmetros para cálculo de X e Y

Parâmetros	Valores
Área de cada coletor (m ²)	2,0
Número de coletores	60
Área coletora total (m ²)	120,0
$F_R U_L$	3,905
$F_R(\tau\alpha)_n$	0,700
Temperatura de referência empírica (°C)	100

Fonte: Elaborado pelo autor

A temperatura ambiente média mensal é mostrada na Tabela 5 - Dados climatológicos para São Paulo.

O número total de segundos no mês varia com o número de dias no mês, deve-se multiplicar 86400, que é o número de segundos no dia, pelo número de dias no mês.

O calor acumulado mensal total foi definido como o calor necessário para aquecer o volume de 7820 litros de água a 55°C, que é a demanda calculada no dimensionamento do sistema de apoio no capítulo anterior e varia com o número de dias no mês, considerando que para qualquer estação do ano, o usuário tomará banho na mesma temperatura da água.

A radiação diária mensal é mostrada na Figura 35 e foram utilizados os valores mais próximos da inclinação dos coletores, a de maior mínimo mensal.

Os dados obtidos podem ser observados na Tabela 10Tabela 10 - Dados para cálculo de X e Y.

Tabela 10 - Dados para cálculo de X e Y

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Dias/mês	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
HtN (GJ/m ²)	0,49	0,49	0,52	0,51	0,49	0,47	0,49	0,57	0,48	0,49	0,47	0,52
L (GJ/mês)	32,58	29,15	33,09	33,40	37,35	37,23	38,87	37,86	35,85	35,52	33,20	33,39

Fonte: Elaborado pelo autor

Com esses valores e as Equações (11) e (12), é possível definir X e Y para cada um dos 12 meses do ano. Com esses resultados e a Equação (13), pode-

se calcular a fração f mensal, o produto entre f e o calor acumulado e , assim, calcular o fator solar anual F .

Tabela 11 - Parâmetros X , Y e fator f mensal

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	TOTAL
X	2,97	2,99	2,94	2,87	2,75	2,70	2,69	2,73	2,76	2,83	2,88	2,93	-
Y	1,20	1,37	1,28	1,23	1,06	1,02	1,01	1,21	1,07	1,11	1,15	1,25	-
f	0,74	0,83	0,78	0,76	0,68	0,65	0,65	0,76	0,68	0,70	0,72	0,77	-
L (GJ)	32,58	29,15	33,09	33,40	37,35	37,23	38,87	37,86	35,85	35,52	33,20	33,39	417,49
fL	24,25	24,06	25,90	25,55	25,30	24,27	25,19	28,89	24,40	24,82	23,92	25,65	302,19

Fonte: Elaborado pelo autor

A razão entre o somatório do produto do fator f e o calor acumulado (fL) de cada mês do ano sobre o somatório do calor acumulado (L) anual é o fator solar anual F e nesse estudo de caso vale 0,72, ou seja, o sistema de aquecimento solar é capaz de fornecer até 72% da demanda de calor necessária para aquecimento de água nesse estudo de caso.

Deve-se também preparar um material específico para treinamento do gestor predial ou um capítulo do manual do síndico específico para os cuidados com o sistema de aquecimento solar.

Os cuidados principais são: a correta limpeza periódica dos coletores, preferencialmente todo mês, com vassoura de pelo macia, panos que não riscuem o vidro, água limpa e sabão neutro, de preferência no início da manhã para evitar trincas no vidro pela diferença de temperatura entre este e a água usada na limpeza; inspeção preventiva para detecção de vazamentos e sujeiras na tubulação e demais componentes do sistema como válvulas, drenos, conexões, entre outros e sua correta limpeza; verificar se há ar na tubulação e realizar a sua remoção, quando necessário; realizar a limpeza dos reservatórios primários, secundários e drenagem dos coletores periodicamente, preferencialmente uma vez por ano, para garantir a qualidade da água e evitar entupimentos nas tubulações; realizar a manutenção periódica nos aquecedores de passagem a gás, preferencialmente uma vez ao ano, para manter a segurança e o rendimento do sistema; realizar a manutenção periódica nos motores e bombas do sistema de circulação de água quente.

Também nesta etapa, se faz o projeto das alterações necessárias para a implantação do sistema em edificações já finalizadas. Como para este estudo de caso o edifício ainda está em fase de projeto, deve-se realizar a análise de projetos e a compatibilização do projeto de aquecimento solar com os outros projetos como o arquitetônico, hidráulico e estrutural, principalmente. Neste estudo de caso, as principais alterações do projeto original foram a utilização do espaço vazio ao lado do elevador nos halls para passar a prumada principal de água quente e a derivação dos ramais desse andar, com a instalação de cavaletes provisionando a instalação de medidores individuais de consumo de água quente, por parte do condomínio, a utilização da cobertura para a instalação dos reservatórios térmicos e coletores solares, sem a necessidade de reforço na estrutura, já que as cargas adicionadas devido ao sistema de aquecimento solar não ultrapassam a carga suportada pela laje, que já tinha uma espessura de 20 cm em seu projeto original e a instalação de válvulas misturadoras termostáticas em cada apartamento para garantir que a água chegue ao ponto de consumo com no máximo 52°C, evitando queimaduras dos usuários. As alterações foram incorporadas no novo projeto e seus custos serão apresentados a seguir.

7.1.6 Análise dos custos de instalação, operação e manutenção

Com o projeto e dimensionamento do sistema de aquecimento central finalizado, tem-se que analisar os custos de instalação, operação e manutenção do sistema como um todo, tanto a parte de aquecimento solar quanto o sistema de apoio a gás, como proposto na sexta etapa do método.

Os custos de instalação foram detalhados e divididos entre custos com a coluna de distribuição, ramais dos andares inferiores e superiores com tipologias diferentes, sistema de apoio a gás e sistema de aquecimento solar.

O orçamento foi realizado no início do segundo semestre de 2019, com dados obtidos por informações passadas por empresas e fornecedores reais para uma obra com previsão de execução imediata na cidade de São Paulo.

A coluna de distribuição que passa pelo shaft nos halls dos pavimentos tipos contém tubos e conexões em CPVC com diâmetro de 28mm, suportes verticais para evitar trepidações na tubulação, duas bombas de recalque para a

circulação da água quente no sistema, pressurizador para atender a pressão mínima nos andares mais altos, redutor de pressão para evitar sobre pressão nos andares inferiores.

Também nesse item do orçamento, foi inserido o adesivo colante para CPVC, lixa e serra para todo o sistema de aquecimento de água, não só para a coluna de distribuição, mas também para os ramais e tubulações na cobertura do edifício. Além disso, o acesso a coluna de distribuição e cavaletes de previsão para medição individualizada será realizada por uma porta de madeira a ser instalada no hall dos pavimentos tipo e seu custo também foi alocado nesse item do orçamento, o qual é detalhado na Tabela 12.

Tabela 12 - Orçamento coluna de distribuição

DESCRIÇÃO	QUANT.	UNID	VALOR UNIT (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
COLUNA DE DISTRIBUIÇÃO			R\$	13.096,91
Tubo 3m CPVC DN 28	120	m	R\$ 17,25	R\$ 2.070,00
Joelho 90º CPVC DN 28	10	unid	R\$ 5,30	R\$ 53,00
Te 90º de Redução CPVC DN 28x15	16	unid	R\$ 5,40	R\$ 86,40
Te CPVC DN 28	2	unid	R\$ 5,40	R\$ 10,80
Registro DN 28	4	unid	R\$ 42,95	R\$ 171,80
Adesivo Especial CPVC 850g	3	unid	R\$ 97,63	R\$ 292,89
Lixa 150	100	folhas	R\$ 1,33	R\$ 133,00
Lâmina de serra	15	unid	R\$ 6,30	R\$ 94,50
Suportes verticais 1"	64	unid	R\$ 0,62	R\$ 39,68
Bomba de Recalque Modelo P-15/3 K AL POT 6,0 CV - TRIFÁSICA	2	unid	R\$ 3.080,00	R\$ 6.160,00
Pressurizador para Sistema Hidráulico Bivolt TP 825	1	unid	R\$ 963,90	R\$ 963,90
Redutor de pressão c/ manômetro	1	unid	R\$ 119,90	R\$ 119,90
Porta 0,62x2,10m Madeira Acesso Hall (Mat+M.O.)	16	unid	R\$ 138,19	R\$ 2.211,04
Mão de obra	40	hh	R\$ 17,25	R\$ 690,00

Fonte: Elaborado pelo autor

Em cada pavimento tipo, da coluna de distribuição, deriva-se os ramais de distribuição para levar a água quente ao misturador do chuveiro no banheiro do apartamento, passando antes por válvulas misturadoras termostáticas que evitam que a água chegue até o usuário final a uma temperatura superior a 52°C, evitando queimaduras. Para isso, serão utilizados tubos e conexões em CPVC com diâmetro de 15mm, fixados no teto do pavimento tipo por meio de suportes horizontais e protegidos por uma sanca de gesso, que não está no orçamento, pois já era prevista no projeto original para proteger a tubulação de

água fria. O orçamento detalhado do sistema de aquecimento, tanto dos pavimentos com cinco apartamentos HIS, (do 1º ao 12º pavimento tipo) como os pavimentos com quatro apartamentos HIS (do 13º ao 16º pavimento tipo) estão detalhados na Tabela 13.

Tabela 13 - Orçamento ramais de distribuição

DESCRIÇÃO	QUANT.	UNID	VALOR UNIT (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
RAMAL DO 1º AO 12º PAVIMENTO TIPO				R\$ 11.570,76
Tubo 3m CPVC DN 15	733,54	m	R\$ 6,80	R\$ 4.988,04
Joelho 90º CPVC DN 15	384	unid	R\$ 1,50	R\$ 576,00
Te CPVC DN 15	48	unid	R\$ 1,75	R\$ 84,00
Registro DN 15	60	unid	R\$ 24,95	R\$ 1.497,00
Suportes horizontais 1/2"	384	unid	R\$ 0,48	R\$ 184,32
Válvula Misturadora Termostática	60	unid	R\$ 56,89	R\$ 3.413,40
Mão de obra	48	hh	R\$ 17,25	R\$ 828,00
				R\$ -
RAMAL DO 13º AO 16º PAVIMENTO TIPO				R\$ 2.849,47
Tubo 3m CPVC DN 15	145,53	m	R\$ 6,80	R\$ 989,59
Joelho 90º CPVC DN 15	128	unid	R\$ 1,50	R\$ 192,00
Te CPVC DN 15	12	unid	R\$ 1,75	R\$ 21,00
Registro DN 15	16	unid	R\$ 24,95	R\$ 399,20
Suportes horizontais 1/2"	128	unid	R\$ 0,48	R\$ 61,44
Válvula Misturadora Termostática	16	unid	R\$ 56,89	R\$ 910,24
Mão de obra	16	hh	R\$ 17,25	R\$ 276,00

Fonte: Elaborado pelo autor

O sistema de apoio a gás é composto pelos quatro aquecedores de passagem que fornecem a água quente para os dois reservatórios secundários de 500 litros cada, tubos e conexões em cobre para o fornecimento de gás aos aquecedores de passagem, tubos e conexões em CPVC de 15mm de diâmetro, uma bomba para a circulação da água dos reservatórios secundários até os aquecedores de passagem e seu retorno até os reservatórios secundários e válvulas e componentes de segurança.

A automação do sistema é responsável pela medição das temperaturas dos reservatórios primários e dos secundários. Caso a água dos reservatórios primários esteja a uma temperatura superior à de 55°C, temperatura de armazenamento da água nos reservatórios secundários, antes de entrar nos reservatórios secundário, a água quente é misturada com a água fria que vem diretamente na caixa d'água superior do edifício. Caso a água dos reservatórios primários esteja a uma temperatura inferior à de 55°C, não há

necessidade de misturar com água fria e segue livremente para os reservatórios secundários.

A água nos reservatórios secundários deve ser mantida a temperatura de 55°C. Se a temperatura dentro desses reservatórios for inferior a temperatura de 52°C, o sistema automatizado liga a bomba de circulação para acionar os aquecedores de passagem e sistema aquece a água até a temperatura no reservatório se estabilizar novamente na temperatura de 55°C.

A última função do sistema automatizado é acionar a bomba de circulação de água entre os coletores solares e os reservatórios primários. Para isso, é colocado um sensor na entrada do coletor e outro na saída. Se a temperatura da saída do coletor for maior que a da sua entrada, significa que está acontecendo um ganho de energia no coletor e a bomba de circulação deve ser acionada. Se a temperatura de entrada e de saída forem iguais, significa que não há ganho energético nos coletores, então a bomba de circulação deve ser desligada.

O sistema de apoio a gás e automação do sistema central de água foi orçado e detalhado na Tabela 14.

Tabela 14 - Orçamento sistema de apoio a gás

DESCRIÇÃO	QUANT.	UNID	VALOR UNIT (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
SISTEMA DE APOIO A GÁS				R\$ 27.946,03
Aquecedor REU-2402 FEC1 32,5l/min	4	unid	R\$ 3.540,00	R\$ 14.160,00
Cobertura para aquecedores (Material e mão de obra)	1	unid	R\$ 350,00	R\$ 350,00
Tubo cobre 3/4"	5	m	R\$ 21,93	R\$ 109,65
Joelho 90º Cobre 3/4"	3	unid	R\$ 11,37	R\$ 34,11
Te Cobre 3/4"	8	unid	R\$ 6,51	R\$ 52,08
Cotovelo 90º Cobre Solda x Rosca Fêmea	4	unid	R\$ 12,83	R\$ 51,32
Reservatório para Aquecedor Solar 500 Litros Inox	2	unid	R\$ 1.432,08	R\$ 2.864,16
Tubo 3m CPVC DN 28	45,86	m	R\$ 17,25	R\$ 791,08
Joelho 90º CPVC DN 28	6	unid	R\$ 5,30	R\$ 31,80
Te 90º de Redução CPVC DN 28x15	2	unid	R\$ 5,40	R\$ 10,80
Te CPVC DN 28	2	unid	R\$ 5,40	R\$ 10,80
Registro DN 28	10	unid	R\$ 42,95	R\$ 429,50
Tubo 3m CPVC DN 15	18,08	m	R\$ 6,80	R\$ 122,94
Joelho 90º CPVC DN 15	18	unid	R\$ 1,50	R\$ 27,00
Te CPVC DN 15	15	unid	R\$ 1,75	R\$ 26,25
Registro DN 15	20	unid	R\$ 24,95	R\$ 499,00
Valvula de segurança TP	2	unid	R\$ 26,48	R\$ 52,96
Vaso de expansão 35l	2	unid	R\$ 410,40	R\$ 820,80
Bomba Centrífuga Schneider Bc-91 T 1/6 Cv Mono 127V	1	unid	R\$ 725,78	R\$ 725,78
Automação do sistema (Material e mão de obra)	1	unid	R\$ 6.500,00	R\$ 6.500,00
Mão de obra	16	hh	R\$ 17,25	R\$ 276,00

Fonte: Elaborado pelo autor

Por último, foi orçado o sistema de aquecimento solar, a parte mais cara do sistema principalmente por três itens críticos: os coletores, os dois reservatórios primários de 4.000 litros cada e os suportes metálicos para os coletores.

Além dos três itens críticos, foram orçados tubos e conexões em cobre com diâmetro de 22mm que são compatíveis com o diâmetro das tubulações internas do coletor e suportam temperaturas maiores que o CPVC, válvulas de segurança e a bomba centrífuga para a circulação da água entre os coletores e os reservatórios primários, conforme mostra a Tabela 15.

Tabela 15 - Orçamento sistema de aquecimento solar

DESCRIÇÃO	QUANT.	UNID	VALOR UNIT (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR			R\$	91.043,16
Tubo cobre 3/4" Classe E	220,83	m	R\$ 21,93	R\$ 4.842,84
Joelho 90º Cobre 3/4"	36	unid	R\$ 11,37	R\$ 409,32
Te Cobre 3/4"	124	unid	R\$ 6,51	R\$ 807,24
Registro de gaveta em cobre 3/4"	10	unid	R\$ 40,35	R\$ 403,50
Coletor Solar TITANIUM PLUS 1x2 RSC-2000T	60	unid	R\$ 751,85	R\$ 45.111,00
Suporte Metálico (Material + Montagem + Instalação)	60	unid	R\$ 250,00	R\$ 15.000,00
Reservatório para Aquecedor Solar 4000 Litros Inox	2	unid	R\$ 11.363,62	R\$ 22.727,24
Valvula de segurança TP	2	unid	R\$ 26,48	R\$ 52,96
Válvula Ventosa	10	unid	R\$ 23,75	R\$ 237,50
Bomba Centrífuga Schneider Bc-91 T 1/6 Cv Mono 127V	2	unid	R\$ 725,78	R\$ 1.451,56
Mão de obra	120	hh	R\$ 17,25	R\$ 2.070,00

Fonte: Elaborado pelo autor

O custo total para atender aos 76 apartamentos do estudo de caso foi de R\$146.506,34, com um valor por apartamento de R\$1.927,71, que pode ser considerado baixo pelo custo total do imóvel.

Comparado com os valores dos aquecedores de passagem para o sistema central privado, que em uma média de mercado gira em torno de R\$800,00 a R\$1.500,00, dependendo do modelo e marca, o custo do sistema de aquecimento central coletivo fica um pouco acima dos custos de instalação de um aquecedor de passagem, porém, tem a vantagem de contar com o auxílio do sistema de aquecimento solar que diminuirá o consumo de gás em comparação ao sistema central privado e de não ocupar o espaço interno do apartamento.

A manutenção do sistema tem os custos basicamente divididos entre inspeção e limpeza dos coletores solares mensalmente, manutenção e limpeza dos reservatórios térmicos anualmente, manutenção dos aquecedores a gás também anualmente e manutenção das bombas e motores do sistema.

A limpeza e verificação dos coletores solares demanda apenas algumas horas por mês dos funcionários do condomínio, os materiais usados na limpeza já são usados regularmente, mesmo sem o sistema de aquecimento solar no prédio. Desse modo, o valor para essa tarefa na rotina do condomínio não irá onerar o orçamento do condomínio em mais de R\$50,00 por mês.

Para limpeza e manutenção preventiva anual dos reservatórios, gasta-se em torno de R\$400,00 para cada um dos reservatórios menores e R\$800,00 para os maiores, totalizando R\$2.400,00 por ano.

A manutenção preventiva de cada um dos quatro aquecedores a gás foi orçada em R\$200,00, gastando um total de R\$800,00 por ano.

Para a manutenção das bombas e motores, foi orçado um valor para a bomba de recalque no subsolo mais as duas bombas centrifugas na cobertura por um único valor de R\$120,00 por mês.

Com esses valores, é possível chegar num total anual para a manutenção do sistema de R\$5.240,00, ou em valores mensais, R\$436,67. Esses valores equivalem a um total de R\$68,95 por apartamento anualmente ou R\$5,75 por apartamento mensalmente. Os custos em manutenção estão resumidos na Tabela 16.

Tabela 16 - Custos de manutenção e limpeza do sistema de aquecimento central

	Custo mensal		Custo anual		R\$/Apto mensal		R\$/Apto anual	
inspeção e limpeza dos coletores solares	R\$	50,00	R\$	600,00	R\$	0,66	R\$	7,89
manutenção e limpeza dos reservatórios	R\$	200,00	R\$	2.400,00	R\$	2,63	R\$	31,58
manutenção dos aquecedores a gás	R\$	66,67	R\$	800,00	R\$	0,88	R\$	10,53
manutenção das bombas e motores	R\$	120,00	R\$	1.440,00	R\$	1,58	R\$	18,95
TOTAL	R\$	436,67	R\$	5.240,00	R\$	5,75	R\$	68,95

Fonte: Elaborado pelo autor

Os custos de operação do sistema a gás, principalmente quanto relacionados ao consumo de gás, teoricamente é o mesmo para o sistema coletivo como para o sistema privado, com exceção as perdas da distribuição e do reservatório. Essas perdas já foram calculadas e somam um total de 2,563kW ou 1845,36kWh/mês.

Na região do estudo de caso, a fornecedora de gás natural é a COMGÁS, a tarifa cobrada pela empresa para uso residencial coletiva é de R\$5,89/m³. Os aquecedores escolhidos podem gerar 53,7 kW, tem um rendimento de 84% e consome até 4,84m³/h, assim, o consumo mensal para suprir as perdas térmicas do sistema a gás, que foi calculado em R\$1.166,24 por mês para ser

dividido pelos 76 apartamentos que são beneficiados pelo sistema de aquecimento coletivo, com um total de R\$15,35 por apartamento por mês.

7.1.7 Análise da viabilidade econômica da implantação do sistema

A última etapa do método é a análise de viabilidade. A potência total necessária nos apartamentos no sistema coletivo é de 318,25kWh/dia, um total mensal de R\$89,00 por apartamento em aquecimento de água para o banho caso o sistema adotado fosse o privado, sem as perdas calculadas anteriormente. Com o auxílio do aquecimento solar, o gasto em aquecimento de água com um fator de rendimento do sistema solar em 72%, o valor médio gasto por mês com aquecimento de água fica em aproximadamente R\$29,22, uma vez que o valor total sem o aquecedor solar seria os mesmos R\$89,00 com o consumo de gás mensal, acrescido dos R\$15,35 das perdas no sistema, totalizando R\$104,35 por mês. Como o sistema de aquecimento de água solar tem um rendimento de 72%, a conta fica a mesma porcentagem mais barata. Assim, a economia por apartamento fica em torno de R\$59,78 por mês, quando comparado ao sistema de aquecimento a gás central privado, totalizando um valor mensal de R\$29,22.

Além disso, deve-se considerar o preço de manutenção do sistema. Nesse sistema proposto no estudo de caso, deve-se acrescentar o custo de R\$5,75 por apartamento por mês. Entretanto, se for considerado a manutenção anual do aquecedor a gás do sistema central privado, deve-se acrescentar ao custo desse sistema R\$16,67 por apartamento por mês. Assim, a economia de cada apartamento sobe de R\$59,78 para R\$70,70 por mês, conforme mostra Tabela 17, com o custo do aquecedor a gás a R\$800,00 e Tabela 18 com o custo do aquecedor a gás a R\$1500,00.

Tabela 17 - Diferença de custos entre o Sistema de Aquecimento Solar com suporte a gás e Sistema Central Privado a gás, com aquecedor de passagem do SCPG a R\$800,00

	Custo de instalação		Manutenção Mensal		Consumo de Gás Mensal		Total Mensal
SAS	R\$	1.927,71	R\$	5,75	R\$	29,22	R\$ 34,97
SCPG	R\$	800,00	R\$	16,67	R\$	89,00	R\$ 105,67
Diferença	R\$	1.127,71	-R\$	10,92	-R\$	59,78	-R\$ 70,70

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 18 - Diferença de custos entre o Sistema de Aquecimento Solar com suporte a gás e Sistema Central Privado a gás, com aquecedor de passagem do SCPG a R\$1500,00

	Custo de instalação		Manutenção Mensal		Consumo de Gás Mensal		Total Mensal
SAS	R\$	1.927,71	R\$	5,75	R\$	29,22	R\$ 34,97
SCPG	R\$	1.500,00	R\$	16,67	R\$	89,00	R\$ 105,67
Diferença	R\$	427,71	-R\$	10,92	-R\$	59,78	-R\$ 70,70

Fonte: Elaborado pelo autor

No caso do aquecedor ser adquirido por R\$800,00, como no exemplo da Tabela 17, o retorno do investimento, considerando a economia total mensal e os custos de instalação, acontece um pouco depois do primeiro ano de uso do sistema, no 16º mês. No caso de o aquecedor ser adquirido por R\$1500,00, como no exemplo da Tabela 18, o retorno do investimento acontece no 6º mês. Pelo tempo relativamente curto do retorno do investimento em comparação com a vida útil do edifício, o sistema de aquecimento solar se mostra viável economicamente para o objeto do estudo de caso.

Para a construtora implantar o sistema de aquecimento solar de água durante a obra e entregar funcionando para os proprietário, no estudo de caso, o custo adicional é inferior a 1% do orçado sem o sistema coletivo de aquecimento de água e o valor acrescido por apartamento de R\$1.927,71 pode ser incorporado ao valor do imóvel durante a venda sem grandes dificuldades, uma vez que a equipe de vendas consiga passar ao comprador os benefícios do sistema.

Entre esses benefícios, além da economia financeira que paga o investimento em um ano de uso e a principal motivação do trabalho, o uso de energia limpa e renovável para gerar calor para aquecimento de água e redução do uso de outras energias mais poluidoras, pode-se citar também o ganho de espaço que seria usado para a instalação do aquecedor de passagem a gás na parte interna do apartamento, além da segurança de evitar que um aparelho sujeito a explosão e vazamento de gás combustível e dióxido de carbono seja instalado no lado de dentro de um apartamento de pequenas dimensões. Outro benefício do sistema para o usuário é a terceirização da manutenção e limpeza do sistema, que passa a ser de responsabilidade do condomínio.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os conceitos teóricos do sistema de aquecimento solar de água como fundamentos de engenharia solar, radiação e fração solar, em um primeiro momento, assustam os leitores que começam a se interessar pelo uso do sistema, mas que não tenham uma boa base teórica para entender seu funcionamento. Por isso, foi proposto um método de análise de viabilidade de implantação do sistema de aquecimento solar que pode ser seguido como um roteiro segmentado em sete etapas para que os interessados em obter os benefícios gerados pelo sistema possam aplicá-los em uma obra que se inicia ou em reforma de edifício já construído de uma maneira mais simples e prática. A maioria dos empreendimentos residenciais verticais multifamiliares construídos no Brasil não contam com sistemas centrais de aquecimento de água, uma vez que a maioria das residências no país são atendidas por sistemas de aquecimento individuais (PROCEL 2007), por isso, se fez necessário a apresentação de outros tipos de sistemas prediais de aquecimento de água, seus componentes, funcionamento, vantagens e desvantagens.

O método desenvolvido nesse trabalho cumpriu seu objetivo inicial de ser simples e direto, mas ao mesmo tempo verificar os principais itens para análise de viabilidade de implantação de sistema de aquecimento solar de água de forma eficiente. O método apresenta quais etapas devem ser realizadas antes, durante ou depois de uma análise detalhada de projetos, economizando tempo e outros recursos das equipes que almejam implementar esse tipo de sistema em seus empreendimentos.

A utilização de um estudo de caso real na elaboração do trabalho ajudou a melhor visualização das etapas da aplicação do método e serviu para ver de maneira mais prática os entraves e dificuldades das mudanças propostas para a instalação de um sistema de aquecimento solar em um projeto que não previa tal sistema na sua concepção original.

A principal limitação do sistema, como já era esperado, foi a falta de espaço para a instalação de coletores solares que atendam a necessidade do condomínio. No estudo de caso, essa dificuldade foi solucionada limitando o número de apartamentos que são atendidos pelo sistema de aquecimento

solar, 76 dos 132 apartamentos do empreendimento são abastecidos pelo Sistema Central Coletivo de água quente.

A falta de espaço também foi um dos fatores determinantes na escolha de um Sistema Central Coletivo, uma vez que nos pavimentos tipos não há muito espaço para instalação de reservatórios que atendam cinco apartamentos por andar, por esse motivo, foi decidido que a melhor solução era a instalação de reservatórios coletivos que atendessem todos os apartamentos do sistema e o local com espaço para um reservatório com essas dimensões é a cobertura do edifício.

A instalação dos coletores, reservatórios primários e secundários e aquecedor de passagem em um mesmo andar, próximos entre si gera uma economia considerável com tubulação mais curtas e menores perdas térmicas no sistema em comparação com sistemas que contam com coletores na parte superior do edifício e aquecedores de passagem em pavimentos inferiores. Essa disposição também facilita a operação e manutenção do sistema, uma vez que todos os componentes se encontram próximos.

A lei nº 13.312, de 12 de julho de 2016 obriga a medição individualizada do consumo hídrico nas novas edificações condominiais, porém, antes mesmo da promulgação da lei, a prática já vem sendo tomada pelas construtoras por uma demanda de mercado, uma vez que os clientes já procuram por essa opção na hora de adquirir o imóvel. Com a água quente, além da medição da vazão, há uma outra variável a ser medida para cobrança do usuário final, a temperatura. Para resolver esse problema, nesse estudo de caso foi sugerido a instalação de um sistema de aquecimento central, no qual a água seja armazenada a uma temperatura constante. Desse modo, não há a necessidade de medir individualmente a temperatura da água em cada ramificação para o apartamento, apenas a vazão utilizada.

Os benefícios do sistema de aquecimento solar de água, para esse estudo de caso, foram enormes. Os custos de instalação de todo o sistema são próximos aos de aquecedores de passagem para cada apartamento, com a vantagem de não ocupar espaço interno dos apartamentos, reduzir os custos diretos com gás no aquecimento da água, redução de risco de explosão por mau

funcionamento do aquecedor de passagem dentro do apartamento e o principal, o uso de energia limpa e renovável durante a vida útil do edifício.

Como dificuldades, pode-se citar que os custos de instalação são de responsabilidade da incorporadora, o que pode inibir instalação do sistema. Outra dificuldade é a análise de projeto para as alterações necessárias, caso não haja engajamento da equipe para procurar as soluções diferentes que cada empreendimento necessite, os custos podem ultrapassar, e muito, os valores obtidos nesse estudo de caso.

Um fator importante que deve ser mencionado é o aumento da tarifa do gás natural durante a execução deste trabalho. Do início ao término dessa dissertação, houve um aumento de 57% da tarifa em 2 anos, fato que colaborou para um retorno do investimento relativamente curto não esperado no início da pesquisa. Como sugestão para pesquisas futuras, seria interessante uma comparação entre custos de um sistema elétrico de apoio ao sistema de aquecimento solar de água e os custos de um sistema de apoio a gás.

Outra sugestão para novos trabalhos seria o uso do método descrito nesse trabalho em outros estudos de casos, principalmente em outras regiões do país para análise de custos, benefícios e dificuldades.

Por fim, pode-se concluir que o método segmentado em sete etapas proposto no trabalho pode ser aplicado em empreendimentos reais, mostrando ser eficiente em sua análise de viabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10185**: Reservatórios térmicos para líquidos destinados a sistemas de energia solar — Determinação de desempenho térmico — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15569**: Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto - Projeto e instalação —. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15747**: Sistemas solares térmicos e seus componentes - Coletores solares. Rio de Janeiro, 2009.

ARRUDA, Laerte Bernardes. **Operação de sistemas de aquecimento solar de água com controle de vazões em coletores planos**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BOAIT, Peter John et al. **Production efficiency of hot water for domestic use**. Energy and Buildings, v. 54, p. 160-168, 2012.

CARVALHO, Gerson Correa. Estação solar de aquecimento de água. **Revista Técnica**, São Paulo, ed 146, p. 77-80, maio 2009

COLMENAR-SANTOS, Antonio et al. Solar thermal systems for high rise buildings with high consumption demand: case study for a 5 star hotel in Sao Paulo, Brazil. **Energy and Buildings**, v. 69, p. 481-489, 2014.

COMGAS, **Sistemas de Aquecimento de Água para Edifícios através da associação Solar & Gás Natural**. 61p. São Paulo. Março 2011.

DIAS, David Montero; MARTINEZ, Carlos Barreira; LIBÂNIO, Marcelo. Avaliação do impacto da variação da renda no consumo domiciliar de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 155-166, 2010.

DE CUYPER, Karel. **C2) Effect of clean hot water on the Legionella-contamination in hot water draw-off branches: a laboratory study**. 7p., 2008

DUFFIE, John A.; BECKMAN, William A. **Solar engineering of thermal processes**. John Wiley & Sons, 2013.

FELDMAN, Kenneth W. et al. **Tap water scald burns in children**. Pediatrics, v. 62, n. 1, p. 1-7, 1978.

FROST&SULLIVAN. **European Residential Water Heating Equipment Markets**. 10p. 2001. #3644-19. San Antonio, Texas- Estados Unidos 2001.

GIGLIO, Thalita; LAMBERTS, Roberto. Savings related to solar water heating system: A case study of low-income families in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 130, p. 434-442, 2016.

HANG, Yin; QU, Ming; ZHAO, Fu. Economic and environmental life cycle analysis of solar hot water systems in the United States. **Energy and Buildings**, v. 45, p. 181-188, 2012.

HE, Zinian. Solar water heating systems applied in high-rise residential buildings in China. **Energy Procedia**, v. 91, p. 408-414, 2016.

ILHA, Marina S de Oliveira; GONCALVES, Orestes M; KAVASSAKI, Yukio. Sistemas prediais de água quente. 1994. Texto Técnico **Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil**, TT/PCC/09, São Paulo.

ILHA, Marina Sangoi de Oliveira; GONÇALVES, Orestes Marraccini. Estudo de parâmetros relacionados com a utilização de água quente em edifícios residenciais. 1991.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, Normais Climatológicas do Brasil. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/webcdp/climatologia/normais2/index.php>>. Acesso em: 25 mai. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Aquecedores de água a gás instantâneos. Rio de Janeiro, Janeiro 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R. 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Tabela de consumo de energia elétrica – Chuveiros elétricos. Rio de Janeiro, Agosto 2016.

LEE, Susanne. **An Overview of the European Technical Guidelines for the Prevention, Control and Investigation of Infections Caused by Legionella species. Perspectives in public health**, v. 138, n. 5, p. 241-247, 2018.

LI, Rui; DAI, Yanjun; WANG, Ruzhu. Experimental investigation and simulation analysis of the thermal performance of a balcony wall integrated solar water heating unit. **Renewable Energy**, v. 75, p. 115-122, 2015.

LIMA, Juliana Benoni Arruda. **Otimização de sistema de aquecimento solar de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa TRNSYS**. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; PEREIRA, E. B. Scenarios for solar thermal energy applications in Brazil. **Energy Policy**, v. 48, p. 640-649, 2012.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME) **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016 ano base 2015**. 232p. Rio de Janeiro. Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2016.

PORTO, Marcelo Firpo de Souza; FINAMORE, Renan; FERREIRA, Hugo. Injustiças da sustentabilidade: Conflitos ambientais relacionados à produção de energia “limpa” no Brasil. **Revista crítica de ciências sociais**, n. 100, p. 37-64, 2013.

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso – ano base 2005. Classe residencial relatório Brasil**. 187p. Rio de Janeiro. Julho 2007.

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso – ano base 2005. Classe residencial relatório sudeste**. 181p. Rio de Janeiro. Setembro 2007.

RAIMO, Patrícia Abdala. **Aquecimento de água no setor residencial**. 2007. Dissertação (Mestrado em Energia) - Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SÃO PAULO. Secretaria de Energia. **Energia solar paulista Levantamento do potencial**. 49p. São Paulo. Fevereiro 2013.

SHI, Jie et al. Solar water heating system integrated design in high-rise apartment in China. **Energy and Buildings**, v. 58, p. 19-26, 2013.

SIMONS, Andrew; FIRTH, Steven K. Life-cycle assessment of a 100% solar fraction thermal supply to a European apartment building using water-based sensible heat storage. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 6, p. 1231-1240, 2011.

SOWMY, Daniel Setrak. **Aquecimento solar de água: metodologia de avaliação da incerteza na medição do desempenho térmico de coletores solares planos utilizando simulador artificial de radiação solar**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SOWMY, Daniel Setrak. **Eficiência energética: metodologia para avaliação de aquecedores de água residenciais de acumulação elétricos**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Water Heater Market Profile**. 20p. Estados Unidos. Setembro 2009 .

VOSS, Karsten. Solar energy in building renovation—results and experience of international demonstration buildings. **Energy and Buildings**, v. 32, n. 3, p. 291-302, 2000.

WEISS, Werner; Spork-Dur Monika. **Solar Heat Worldwide**. 94p. Solar Heating & Cooling Programme of International Energy Agency. Áustria. Maio, 2018.

YOO, Jung-Hyun. Evaluation of solar hot water heating system applications to high-rise multi-family housing complex based on three years of system operation. **Energy and Buildings**, v. 101, p. 54-63, 2015.