CRISTINA CARDOSO PIMENTA

Aquecimento solar de água e medição individualizada: Sistemas para edifícios multifamiliares

São Paulo
(2019)

CRISTINA CARDOSO PIMENTA

Aquecimento solar de água e medição individualizada: Sistemas para edifícios multifamiliares

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

Orientador:
Prof. Dr. Racine Tadeu Araújo Prado.

São Paulo
(2019)

CRISTINA CARDOSO PIMENTA

Aquecimento solar de água e medição individualizada: Sistemas para edifícios multifamiliares

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. Racine Tadeu Araújo Prado

São Paulo
(2019)

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

Pimenta, Cristina Cardoso

Aquecimento solar de água e medição individualizada: Sistemas para edifícios multifamiliares / C. C. Pimenta – versão corr.-- São Paulo, 2019. 187 p.

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

1.ENERGIA SOLAR 2.AQUECIMENTO DE ÁGUA 3.EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS 4.SISTEMAS PREDIAIS 5.MEDIÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

PIMENTA, C. C. **Aquecimento solar de água e medição individualizada: Sistemas para edifícios multifamiliares** São Paulo. 2019. 187 p. (Mestrado)
Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

Dedico este trabalho à minha família que me deu o suporte necessário durante toda a minha vida para que eu pudesse evoluir e usufruir de todo o meu potencial intelectual, mesmo com todas as barreiras sociais que tivemos que ultrapassar, sempre unidos.

Ao meu pai, que mesmo não tendo este objetivo, influenciou na minha escolha e no meu amor pela engenharia.

À minha mãe, em especial, por ser uma mulher à frente de seu tempo, que quebrou ciclos viciosos da sociedade e sempre se posicionou como um ponto acima da curva, e que é a minha grande inspiração.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Professor Dr. Racine Tadeu Araújo Prado, pela condução durante todo o processo sempre de modo incentivador, e pela atenção e apoio em alto nível que sustentou o meu desenvolvimento e a realização deste trabalho.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização de um curso de Mestrado mesmo durante a minha vida profissional.

Aos Professores do curso de Mestrado Profissional em Inovação na Construção Civil, que contribuíram para minha formação científica.

Aos funcionários e colegas pela união e suporte durante toda a minha trajetória nesta universidade.

À Professora Dra. Eliane Aparecida Faria Amaral Fadigas pelo fornecimento das informações climáticas utilizadas neste trabalho.

Ao meu irmão Vitor Cardoso Pimenta, que mesmo não sendo um profissional da área, se dispôs a revisar os meus textos no momento em que os meus olhos cansados já não eram mais capazes de encontrar as falhas existentes e, além disso, realizou interessantes questionamentos que me auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho.

E em especial à minha avó Maria José do Amaral Cardoso, por ter cuidado de mim durante minha infância, enquanto meus pais trabalhavam, por ter me levado à escola diariamente, me capacitando a chegar até um curso de mestrado, e por até hoje ter se preocupado e rezado para que eu vencesse todas as minhas batalhas, o que definitivamente fez toda a diferença na minha vida.

A verdadeira viagem de descobrimento não
consiste em procurar novas paisagens, mas
em ter novos olhos.

Marcel Proust

RESUMO

A matriz energética mundial atual gera inúmeros impactos ambientais e, com isso, fontes de energia alternativas são necessárias para um futuro imediato. Desta forma, a energia solar se apresenta como uma das possíveis alternativas. A energia solar, principalmente quando utilizada para o aquecimento de água, ou seja, na sua forma térmica, não apresenta impactos ambientais durante sua produção e possui um funcionamento simples. Devido aos seus benefícios, sistemas de aquecimento solar de água já são muito utilizados em diversos países e, inclusive, incentivados por leis, como na cidade de São Paulo. Mesmo este sistema já tendo sido muito estudado, quando a sua aplicação é destinada a residências unifamiliares, ainda há algumas lacunas quando se trata da aplicação em residências multifamiliares. Um exemplo de lacuna é a questão da medição individualizada dos sistemas prediais, incluindo da energia solar. Sendo assim, o objetivo da presente pesquisa é encontrar um sistema de aquecimento solar mais apropriado quanto à medição individualizada. Para tanto, são analisados, teoricamente, diferentes sistemas e suas características. Além disso, é realizado um estudo de caso para se avaliar as características de um sistema em funcionamento em um edifício localizado na cidade de São Paulo. Utilizando-se da junção dos conhecimentos adquiridos na seção teórica e na seção prática, são simuladas algumas propostas de alternativas do sistema, visando avaliar o comportamento da produção dos mesmos em situações distintas. Ao final é possível identificar que o sistema Solar coletivo com acumulação privado e auxiliar instantâneo privado foi o que atendeu a um maior número dos requisitos gerais de sistemas de aquecimento solar e dos requisitos de individualização, e não apresentou problemas de perdas térmicas significativas, apesar de inovações, vislumbradas para um futuro próximo, terem potencial para elevar ainda mais a qualidade do sistema.

Palavras-Chave: Energia Solar. Sistema de aquecimento solar de água. Edifícios residenciais. Sistemas prediais. Medição individualizada.

ABSTRACT

The current global energy matrix generates many environments impacts and, thereby, alternative energy sources are required by an immediate future. Indeed, solar energy is presented as one of the possible alternatives. Solar energy, as more when it heats water, or in other words, when its thermal form is used on the system, does not generate environment impacts during its use and has a simple operation. Due its benefits, solar water heating systems are already widely used in many countries and even encouraged by laws, for example in São Paulo city. Even though this system has already been studied by many scientific researches regarding its application for single family dwellings, there are some gaps when it is related to multifamily dwellings. One example of it is the individualization of the building systems aspect, including the individualization of the solar energy use. Therefore, the aim of this research is find a solar water heating system more appropriated regarding the individualization aspect. Thereunto, different systems from various places are theoretically analyzed by their characteristics. Furthermore, a study case is held to evaluate characteristics of a working system in a residential building located in São Paulo city. Using the junction of both, theoretical and practical studies, some alternative proposals are simulated to evaluate how the production of the systems are in different situations. As a conclusion, it is possible to define the system with a shared solar energy, private boiler and instantaneous auxiliary energy heating as the system that meet a larger number of the general solar heating system requirements and of the individualization requirements and do not have significative thermal loss issues, although, prospected near future innovations have potential to further improve the system.

Keywords: Solar energy. Solar water heating system. High-rise residential buildings. Building systems. Individualization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Matriz energética mundial em 2015	20
Figura 2 - Mercado nacional em 2008 com a baixa participação dos coletores de tubos evacuados	31
Figura 3 - Principais componentes de um coletor solar plano fechado	32
Figura 4 - Elementos de coletores de tubos evacuados.....	33
Figura 5 - Chuveiro elétrico	46
Figura 6 - Aquecedor a gás de passagem	48
Figura 7 - Aquecedor a gás de acumulação.....	50
Figura 8 - Exemplo de sistema de acumulação central com recirculação	52
Figura 9 - Exemplo de sistema fechado de água quente	53
Figura 10 - Disposição dos equipamentos instalados na varanda	70
Figura 11 - Coletor instalado no parapeito das varandas de cada unidade privativa	71
Figura 12 - Sistema com aquecimento solar e energia auxiliar de acumulação coletivo	74
Figura 13 - Sistema de aquecimento solar de acumulação coletivo e energia auxiliar instantâneo coletivo.....	75
Figura 14 - Sistema com os coletores instalados na fachada de forma coletiva	76
Figura 15 - Coletores locados no parapeito das varandas dos andares mais altos com inclinação de 45°	77
Figura 16 - Sistema com aquecimento solar de acumulação coletivo e energia auxiliar elétrica do tipo acumulação privado	82
Figura 17 – Aquecimento solar coletivo com acumulação privado e auxiliar instantâneo a gás privado.....	84
Figura 18 - Sistema com 100% de fração solar.....	88
Figura 19 - Fachada do edifício estudado	91
Figura 20 – Planta de um dos apartamentos.....	92
Figura 21 - Planta da implantação.....	92
Figura 22 - Conjunto de coletores solares instalados na cobertura geral.....	93
Figura 23 - Conjunto de coletores solares instalados no nível do barrilete	94
Figura 24 - Reservatórios térmicos que recebem a água aquecida pelos coletores	94

Figura 25 – Equipamentos do circuito de recirculação – (a) bomba de recirculação, (b) vasos de expansão, (c) trocador de calor de placas, (d) válvula de purga, (e) painéis de controle.....	95
Figura 26 - Aquecedores a gás de passagem.....	96
Figura 27 - Reservatórios térmicos de água para o consumo	97
Figura 28 - Bomba de recirculação do sistema de retorno	98
Figura 29 - Medição individualizada de água fria	98
Figura 30 - Espaço para a medição individualizada de água quente e retorno	99
Figura 31 - Pressurizador para os andares mais altos	100
Figura 32 - Esquemático do sistema de aquecimento solar do edifício estudado...	101
Figura 33 – Primeira página de respostas do questionário do estudo de caso	103
Figura 34 - Segunda página de respostas do questionário do estudo de caso	104
Figura 35 - Terceira página de respostas do questionário do estudo de caso	105
Figura 36 - Coletores sombreados por parede.....	111
Figura 37 - Coletores locados na cobertura sem acesso para manutenção	112
Figura 38 - Cobertura geral do edifício.....	113
Figura 39 - Planta baixa da cobertura do edifício do estudo de caso com a proposta de novo posicionamento dos coletores solares.....	130
Figura 40 - Forma de interligação proposta para os reservatórios térmicos	131
Figura 41 - Disposição dos coletores solares para o sistema encontrado na revisão bibliográfica	136
Figura 42 - Distribuição da água aquecida pelo sistema de aquecimento solar conforme sistema encontrado na revisão bibliográfica.....	137
Figura 43 - Instalação das unidades privativas conforme sistema encontrado na revisão bibliográfica.....	138

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Posicionamento dos agentes quanto a instalação dos aquecedores solares	35
Tabela 2 – Porcentagem de consumo baseado no estudo de São Paulo	44
Tabela 3 - Tabela de comparação entre as variações do sistema - Características .	89
Tabela 4 - Tabela de comparação entre as variações do sistema - Requisitos	90
Tabela 5 - Resumo dos equipamentos do sistema do edifício do estudo de caso ..	100
Tabela 6 - Simulação do sistema para o edifício estudado segundo o guia de parametrização da lei solar de 2007 de São Paulo	110
Tabela 7 - Dados coletados dos condomínios de uma unidade privativa	118
Tabela 8 - Padrões de consumo de água quente baseado na revisão bibliográfica	125
Tabela 9 - Padrão de consumo de água quente da família do estudo de caso	126
Tabela 10 - Padrões de consumo de água quente utilizados nas simulações	128
Tabela 11 - Cálculo das perdas térmicas do sistema encontrado no estudo de caso	134
Tabela 12 - Simulação do sistema encontrado na revisão bibliográfica segundo o guia de parametrização da lei solar de 2007 de São Paulo	135
Tabela 13 – Primeira parte da planilha de cálculo, com dados horários e climáticos	153
Tabela 14 – Segunda parte da planilha de cálculo.....	153
Tabela 15 - Resumo dos resultados da primeira simulação.....	155
Tabela 16 - Resumo dos resultados da segunda simulação	156
Tabela 17 - Resumo dos resultados da terceira simulação.....	157
Tabela 18 - Resumo dos resultados da quarta simulação	158
Tabela 19 - Resumo dos resultados da quinta simulação	159
Tabela 20 - Resumo dos resultados da sexta simulação	160
Tabela 21 - Resumo dos resultados da sétima simulação	161

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Variação da temperatura média diária da cidade de São Paulo	37
Gráfico 2 - Amplitude térmica diária na cidade de São Paulo	38
Gráfico 3 - Consumo de água quente total das famílias durante os dias úteis - horas X porcentagem horária do uso diário total	41
Gráfico 4 - Consumo de água quente total das famílias durante os finais de semana - horas X porcentagem horária do uso diário total	41
Gráfico 5 - Média dos consumos de água quente dos edifícios estudados em São Francisco, durante os dias úteis e finais de semana	42
Gráfico 6 - Perfil da demanda diária de água quente	43
Gráfico 7 - Perfil da demanda elétrica total e a participação do chuveiro elétrico na mesma	43
Gráfico 8 – Irradiação Global Horária média no plano inclinado	139
Gráfico 9 – Soma da Irradiação Global Horária diária no plano inclinado durante o ano	140
Gráfico 10 – Média da temperatura ambiente	140
Gráfico 11 – Temperaturas ambiente máximas e mínimas	141
Gráfico 12 – Padrões de consumo de água utilizados na primeira simulação	143
Gráfico 13 – Padrões de consumo de água utilizados na segunda simulação	144
Gráfico 14 – Padrões de consumo de água utilizados na terceira simulação	145
Gráfico 15 – Padrões de consumo de água utilizados na quarta simulação	146
Gráfico 16 – Padrões de consumo de água utilizados na quinta simulação	147
Gráfico 17 – Padrões de consumo de água utilizados na sexta simulação	148
Gráfico 18 – Padrões de consumo de água utilizados na sétima simulação	150
Gráfico 19 – Demanda de energia auxiliar para o edifício como um todo obtida na primeira simulação	175
Gráfico 20 – Demanda de energia auxiliar para uma única unidade, seguindo os diversos padrões de consumo, obtida na primeira simulação	176
Gráfico 21 – Demanda de energia auxiliar para o edifício como um todo obtida na segunda simulação	177
Gráfico 22 – Demanda de energia auxiliar para uma única unidade, seguindo os diversos padrões de consumo, obtida na segunda simulação	178

Gráfico 23 – Demanda de energia auxiliar para o edifício como um todo obtida na terceira simulação	179
Gráfico 24 – Demanda de energia auxiliar para uma única unidade, seguindo os diversos padrões de consumo, obtida na terceira simulação	180
Gráfico 25 – Demanda de energia auxiliar para o edifício como um todo obtida na quarta simulação	181
Gráfico 26 – Demanda de energia auxiliar para uma única unidade, seguindo os diversos padrões de consumo, obtida na quarta simulação	182
Gráfico 27 – Demanda de energia auxiliar para o edifício como um todo obtida na quinta simulação	183
Gráfico 28 – Demanda de energia auxiliar para uma única unidade, seguindo os diversos padrões de consumo, obtida na quinta simulação	184
Gráfico 29 – Demanda de energia auxiliar para o edifício como um todo obtida na sexta simulação	185
Gráfico 30 – Demanda de energia auxiliar para uma única unidade, seguindo os diversos padrões de consumo, obtida na sexta simulação	186
Gráfico 31 – Demanda de energia auxiliar para uma única unidade, seguindo os diversos padrões de consumo, obtida na sétima simulação	187

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	18
LISTA DE TABELAS.....	20
LISTA DE GRÁFICOS	21
SUMÁRIO	23
1 INTRODUÇÃO	20
2 OBJETIVOS	24
2.1 Objetivo geral	24
2.2 Objetivos específicos	24
3 MÉTODO DE PESQUISA	25
3.1 Revisão Bibliográfica.....	25
3.1.1 Definição das premissas.....	25
3.1.2 Análise das variações.....	25
3.2 Estudo de caso	26
3.2.1 Caracterização.....	26
3.2.2 Avaliação	27
3.3 Simulações de produção dos sistemas.....	27
3.3.1 Definição da demanda.....	27
3.3.2 Definição da produção.....	28
3.3.3 Realização das simulações	28
3.4 Mapa conceitual	29
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	30
4.1 A história dos sistemas de aquecimento solar de água no Brasil	30
4.1.1 Características dos coletores solares historicamente mais utilizados no Brasil	31
4.2 A cadeia produtiva dos aquecedores solares no Brasil.....	33
4.3 Questões técnicas externas aos sistemas	36
4.3.1 Condições meteorológicas da cidade de São Paulo para a instalação de sistemas de aquecimento solar.....	36
4.3.2 <i>Legionella Pneumophila</i>	38
4.3.3 Padrões de consumo de água quente	40
4.3.4 Volume total de água quente consumido por habitante.....	45
4.4 Questões técnicas referentes aos sistemas.....	45

4.4.1	Sistemas prediais convencionais de água quente	45
4.4.2	Principais preocupações na instalação de sistemas de aquecimento solar de água em localidades distintas	54
4.4.3	Formas de otimização dos sistemas de aquecimento solar de água.....	62
4.4.4	Medição individualizada.....	65
4.5	Possibilidades de adequação dos sistemas de aquecimento solar às questões técnicas dos sistemas de água quente	67
4.5.1	Solar central com auxiliar instantâneo individual	68
4.5.2	Solar privado com auxiliar instantâneo privado	70
4.5.3	Solar coletivo com auxiliar de acumulação coletivo.....	72
4.5.4	Solar coletivo com auxiliar instantâneo privado	80
4.5.5	Solar coletivo com auxiliar de acumulação privado	81
4.5.6	Solar coletivo com acumulação privado e auxiliar instantâneo privado ..	83
4.5.7	Solar coletivo com auxiliar também de fontes alternativas	85
4.5.8	Sistema de aquecimento totalmente solar.....	86
4.6	Análise das variações do sistema	88
5	ESTUDO DE CASO	91
5.1	Caracterização do edifício.....	91
5.2	Caracterização do sistema.....	93
5.3	Caracterização dos usuários estudados	101
5.4	Descrição dos dados coletados	107
5.5	Análise crítica do sistema.....	108
5.5.1	Coletores solares.....	111
5.5.2	Reservatórios térmicos	113
5.5.3	Aquecimento auxiliar	114
5.5.4	Distribuição.....	114
5.5.5	Recirculação	116
5.6	Análise crítica dos dados coletados	116
5.7	Análise do atendimento aos requisitos.....	121
6	SIMULAÇÃO DAS PROPOSTAS	124
6.1	Demanda.....	124
6.1.1	Padrão diário de consumo de água quente encontrado na revisão bibliográfica	124

6.1.2	Padrão diário de consumo de água quente da família do estudo de caso	126
6.1.3	Padrões diários de consumo de água quente simulados	127
6.1.4	Volume total de água quente consumido por habitante	128
6.2	Produção	129
6.2.1	Melhorias propostas para o sistema do edifício do estudo de caso.....	129
6.2.2	Melhorias propostas para o sistema encontrado na revisão bibliográfica	132
6.3	Desempenho	138
6.3.1	Dados climáticos.....	138
6.3.2	Definições das simulações	142
6.3.3	Descrições dos cálculos realizados	150
6.3.4	Resultados obtidos	153
6.3.5	Avaliação dos resultados	162
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	163
	REFERÊNCIAS	167
	APÊNDICE A – Resultados das simulações - Gráficos.....	175

1 INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais negativos causados pela humanidade são alvo de recorrentes discussões, as quais já levaram à tratados internacionais e leis ambientais a fim de reduzi-los. Uma das ações humanas que causa grandes impactos ambientais negativos é a geração de energia.

A matriz energética mundial atual é formada por 32% de petróleo, 28% de carvão, 22% de gás natural, 10% de biomassa e resíduos, 5% de fonte nuclear, 2% de fonte hídrica e 1% de outras fontes (IEA, 2017) (Figura 1). Cada um dos elementos dessa matriz tem impactos ambientais específicos como, por exemplo, as usinas nucleares que geram resíduos radioativos, as usinas termoeletricas que geram gases do efeito estufa e as usinas hidrelétricas que tem impactos ambientais na sua implantação pela devastação de grandes áreas.

Figura 1 – Matriz energética mundial em 2015

Fonte: (IEA, 2017)

Apesar dos grandes impactos ambientais, a energia é uma parte importante na vida humana, e houve grandes esforços para aprimorá-la, tanto para o conforto humano, quanto para questões de saúde pública. Sendo assim, não é interessante vislumbrar um retrocesso deste aspecto para reduzir impactos ambientais, mas vislumbrar avanços tecnológicos que possibilitem a redução dos impactos sem a depreciação do conforto e da saúde pública.

Com isto em vista, diversos tipos de tecnologias estão sendo aprimoradas para a geração de energia de uma forma mais sustentável. Entre elas está a energia solar, a qual não gera resíduos durante a sua operação e sua disponibilidade é ilimitada. Os

impactos gerados por esta fonte de energia vêm em grande parte da fabricação dos equipamentos utilizados para o aproveitamento da mesma. Ela pode ser aproveitada em diversas formas como em coletores fotovoltaicos, de forma térmica, e até mesmo em grandes usinas para gerar energia elétrica para grandes regiões (NUNES C. , 2012), entre outros.

A forma térmica de utilização da energia solar possui fundamentos teóricos bem simples e seu princípio consiste em absorver a radiação solar e transferir o calor (PEREIRA & COLLE, 1997). Devido à sua simplicidade, esta é uma forma de utilização da energia solar que vem sendo amplamente difundida pelo mundo. No Brasil, onde há níveis de irradiação solar maiores do que em países europeus (NASPOLINI, MILITÃO, & RUTHER, 2010), por exemplo, é plenamente justificável a implantação de políticas públicas de incentivo à utilização da energia solar térmica, sendo bons exemplos disso as cidades de Belo Horizonte e São Paulo.

Na cidade de São Paulo, no ano de 2007, foi criada a Lei 14.459 que obriga a instalação do sistema de aquecimento solar em edificações com quatro ou mais sanitários e obriga também à instalação, por parte das construtoras, da infraestrutura para tal sistema nas demais edificações, excluindo-se apenas os edifícios de interesse social (SÃO PAULO, 2007).

Porém, na implantação desta lei em São Paulo, algumas barreiras foram encontradas com relação à adequação do sistema proposto à maior verticalização das edificações paulistanas. Essas barreiras se dão principalmente devido ao fato de que a maior parte dos estudos referentes à sistemas de aquecimento solar ser voltada a residências unifamiliares, reduzindo as lacunas dos mesmos. Já para edificações verticalizadas multifamiliares, apesar de haverem estudos, os mesmos não foram suficientes para se ter sistemas de aquecimento solar plenamente adequados a esta tipologia.

Mais recentemente, em 2017, o novo Código de Obras e Edificações do Município de São Paulo (SÃO PAULO, 2017) alterou alguns critérios referentes às exigências da lei de 2007, porém, as lacunas permaneceram.

Um exemplo de lacuna que deve ser solucionada em sistemas para edificações multifamiliares é a questão da medição individualizada dos sistemas prediais para cada unidade privativa. Com ela é possível se ter uma gestão dos sistemas e uma desvinculação da taxa condominial principalmente no que diz respeito ao não pagamento. Além disso, estudos mostram que a implantação de medições individualizadas de água, gás e eletricidade alteram positivamente os hábitos de

consumo da população, gerando redução dos mesmos e, devido a esta redução de consumos, a medição individualizada de água já se tornou obrigatória em todo o território nacional, com prazo de 5 anos para entrar em vigor (BRASIL, 2016). Porém, ao se inserir um sistema novo em uma edificação verticalizada (o sistema de aquecimento solar) há dúvidas sobre como manter a individualização dos sistemas existentes e também estender este conceito para o sistema novo.

Já em relação à distribuição da energia solar, desde os coletores até os pontos de consumo das diversas unidades privativas que compõem um edifício residencial, há algumas tipologias de sistemas diferentes estudadas não apenas no Brasil, mas também em outros países. Estas tipologias, por vezes, variam tanto quanto a localização dos coletores solares (cobertura ou fachada), como também quanto ao ponto em que o aquecimento auxiliar é inserido no sistema, qual energia é utilizada para este auxílio, o meio pelo qual a energia é transmitida (diretamente aquecendo a água ou trocando calor com a mesma), entre outros aspectos.

Porém, independentemente do sistema utilizado, a questão da individualização fica, ao menos de alguma forma, em aberto. Por exemplo, em Belo Horizonte, o sistema de água quente mais utilizado é do tipo central coletivo, com um aquecimento único para todo o edifício e com a distribuição da água já plenamente aquecida (ABRAVA, 2010). A barreira encontrada neste sistema é que a individualização do gás só seria possível de forma indireta, a partir da medição do consumo de água quente, e ainda assim fica impossibilitado o corte no fornecimento para a unidade que não realizar o pagamento do gás, ficando a diferença a cargo do condomínio suprir.

Entretanto, um outro sistema que vem sendo utilizado apresenta uma forma de aprimorar esta questão ao se utilizar de um circuito fechado, que apenas fornece energia em forma de calor às unidades habitacionais, não alterando o sistema de aquecimento auxiliar que, em geral, é um sistema central privado onde se tem um aquecedor por unidade, proporcionando a individualização de todos os sistemas (NEJO, 2012). Porém, a lacuna que fica neste sistema é a utilização da energia provinda do sol, que pode vir a não ser utilizada de maneira equiparada entre todas as unidades, visto que algumas podem ficar sem os benefícios da energia solar, pelo fato da mesma já ter sido esgotada durante o uso de outras unidades, o que vem a gerar um incremento no consumo de gás desigual.

Mesmo assim, alguns edifícios foram projetados, executados e até já estão com o sistema de aquecimento solar em operação na cidade de São Paulo, pois, tiveram o

dever de cumprir a Lei 14.459 (SÃO PAULO, 2007), independentemente de o sistema possuir ou não lacunas.

Deste modo, este trabalho visa analisar formas alternativas de sistemas utilizados no mundo, e como de fato ocorre a utilização do sistema de aquecimento solar de água por unidade privativa em um edifício projetado e executado na cidade de São Paulo conforme a Lei 14.459 (SÃO PAULO, 2007). A partir destas análises e do uso de simulações, o presente trabalho sugere adequações que visem minimizar o problema da equidade da utilização da energia solar, do gás, da água e da eletricidade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo da presente pesquisa é propor um sistema de aquecimento solar mais apropriado quanto a medição individualizada em edifícios multifamiliares.

2.2 Objetivos específicos

- Levantar, por meio de uma revisão bibliográfica, tanto requisitos gerais a serem atendidos na implantação de sistemas de aquecimentos solar de água, como tipologias de sistemas que atendam tais requisitos e possuam potencial para a individualização.
- Avaliar por meio de um estudo de caso o funcionamento, as não conformidades e o potencial de individualização de um sistema existente e instalado em um edifício multifamiliar da cidade de São Paulo.
- Simular o desempenho dos sistemas encontrados na revisão bibliográfica e no estudo de caso, utilizando os padrões de consumo de água quente também encontrados nos mesmos, além de padrões alternativos.

3 MÉTODO DE PESQUISA

3.1 Revisão Bibliográfica

O presente trabalho se dá inicialmente por meio de uma revisão bibliográfica, a fim de analisar aspectos de sistemas de aquecimento solar de água, inclusive quanto ao seu potencial para a individualização.

3.1.1 Definição das premissas

A revisão bibliográfica apresenta, primeiramente, o contexto de sistemas de aquecimento solar no Brasil, desde o histórico dos sistemas, até a definição da cadeia produtiva dos mesmos.

Após o entendimento do contexto, é coletado um conjunto de informações que envolvem questões referentes às entradas do sistema, saúde pública, e saídas do sistema. Ou seja, são levantadas questões externas ao sistema, mas que devem ser observadas de modo que ele alcance os seus objetivos da melhor maneira possível, sem que haja prejuízos aos seus consumidores.

Também são coletadas informações técnicas inerentes aos sistemas. Questões envolvendo os sistemas convencionais de produção e distribuição de água quente, a adequação da energia solar nos mesmos, os desafios quanto à instalação do sistema em edifícios multifamiliares altos, a necessidade da otimização da sua produção e a medição individualizada.

Com as informações coletadas, tanto externas como inerentes aos sistemas, pode-se definir instruções a serem seguidas independentemente das possíveis variações de sistema que podem ser encontradas.

3.1.2 Análise das variações

A partir das informações coletadas e da produção das instruções, são apresentadas algumas possíveis variações do sistema. Cada uma das variações é avaliada não apenas quanto aos requisitos, mas, principalmente, quanto ao seu potencial de individualização.

É discutido como cada variação do sistema conseguiria ser a mais individualizada possível, e quais seriam as consequências desta individualização, analisando os seus prós e contras.

Ao final da revisão bibliográfica é realizado um comparativo entre as variações e, com isso, a variação que atende à um maior número de requisitos e à individualização é escolhida para que seja simulada nas seções seguintes deste estudo.

3.2 Estudo de caso

Como complemento é realizado um estudo de caso com um edifício residencial localizado na cidade de São Paulo, projetado e construído seguindo as exigências da Lei 14.459 (SÃO PAULO, 2007).

3.2.1 Caracterização

A partir dos estudos analisados durante a revisão bibliográfica, é formulado um questionário para a caracterização dos usuários e para a avaliação da percepção dos mesmos em relação ao sistema.

Em princípio, é apresentada a caracterização do edifício, com a sua localização, número de andares, número de apartamentos por andar, número de dormitórios por apartamento, entre outros. Também são avaliados o seu padrão e as facilidades oferecidas pelo condomínio.

Posteriormente, com a aplicação e respostas do formulário, são descritos os membros da família estudada. São avaliados quais são os membros da família, suas idades, o seu perfil sócio econômico e as suas tarefas diárias. Além de tais informações de caracterização da família, são avaliados, principalmente, os seus hábitos de consumo de água quente, ou seja, para quais atividades a água quente é utilizada, quanto tempo duram tais atividades, e em quais momento do dia são realizadas.

Finalmente, é realizada a caracterização do sistema de aquecimento solar existente. Para tanto, são levantados quantos são e onde estão locados os coletores solares, como é a forma de reserva, como é realizado o aquecimento auxiliar, onde estão locados os reservatórios e a fonte de energia auxiliar, e como é realizada a distribuição da água quente até os pontos de consumo.

3.2.2 Avaliação

Após ter todo o contexto e o próprio sistema devidamente caracterizados, é avaliado se o mesmo está conforme as normas, leis, e boas práticas das instalações de sistemas de aquecimento solar de água.

Além disso, é avaliada a percepção dos usuários em relação ao sistema. Esta percepção se inicia no conhecimento da existência do sistema, no conhecimento dos possíveis benefícios do sistema e, principalmente, no conhecimento de quanto o sistema de fato está reduzindo o consumo de energia auxiliar.

A avaliação da produção do sistema e da redução dos custos com a fonte de energia auxiliar é avaliada através dos boletos de condomínio, nos quais são apresentados todos os consumos gerais do condomínio e as cotas individuais de cada apartamento. Por fim, a percepção do usuário também possibilita a avaliação do atendimento da demanda de água quente pelo sistema, através da entrega ou não de água na temperatura ideal para o uso dos habitantes do edifício.

Ao final do estudo de caso, são apresentados, de forma resumida, os pontos do sistema existente que atendem aos requisitos estudados durante a revisão bibliográfica e os pontos que não atendem. Além disso, é apresentado o potencial de tal sistema quanto a individualização.

3.3 Simulações de produção dos sistemas

Na terceira etapa do presente trabalho são realizadas simulações com base nas conclusões obtidas, tanto na seção de revisão bibliográfica, quanto na seção do estudo de caso.

Para tais simulações são realizadas duas etapas prévias, sendo a primeira voltada para a demanda, e a segunda voltada para o desempenho do sistema, e somente após tais etapas são realizadas as simulações.

3.3.1 Definição da demanda

Com relação à demanda, os hábitos de consumo da família do estudo de caso são utilizados como base para a realização de uma tabela de volume consumido de água quente por hora, em um dia, do mesmo modo em que os hábitos de consumo foram

apresentados na revisão bibliográfica. Desta forma, os valores do estudo de caso e os valores da revisão bibliográfica podem ser comparados utilizando-se da mesma base.

Após a comparação dos hábitos de consumo do estudo de caso e da revisão bibliográfica, são formuladas outras três alternativas de padrões com hábitos de consumo extremos em relação aos demais.

Desta forma, tem-se seis padrões de hábitos de consumo de água quente, ou seja, seis demandas diferentes a serem utilizadas para avaliar o desempenho do sistema em relação ao atendimento das mesmas.

3.3.2 Definição da produção

Os hábitos de consumo serão simulados no sistema definido na revisão bibliográfica e no sistema do edifício apresentado no estudo de caso.

Porém, anteriormente à realização das simulações, ambos os sistemas são aprimorados conforme conhecimentos obtidos na revisão bibliográfica, para que a eficácia e a individualização estejam otimizadas, e a comparação seja realizada através de uma base comum.

3.3.3 Realização das simulações

As simulações são realizadas nos dois sistemas com a combinação de dados, hora a hora, entre a radiação incidente, a produção de energia pelo sistema e o consumo de água quente. Os dados de radiação são utilizados para calcular a produção de energia pelo sistema, e esta é comparada com os hábitos de consumo, utilizando planilhas eletrônicas.

3.4 Mapa conceitual

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica visa verificar, entre diversas possibilidades, qual sistema de aquecimento solar, teoricamente, se aproxima de sanar a lacuna da individualização dos sistemas prediais em edifícios multifamiliares, sem prejuízos aos seus demais aspectos. Para tanto, são apresentadas contextualizações quanto aos sistemas de aquecimento solar para, em seguida, serem apresentados os requisitos e as alternativas de sistema.

4.1 A história dos sistemas de aquecimento solar de água no Brasil

Os primeiros sistemas de aquecimento solar de água chegaram ao Brasil ainda na década de 60. Porém, foi na década de 70 que se deu, de fato, o início da comercialização dos equipamentos que fazem parte dos sistemas de aquecimento solar de água no país. Este início foi impulsionado principalmente pela primeira crise do petróleo (PORTAL SOLAR, 2017).

Na década de 80, houve o desejo em se elevar a qualidade dos sistemas que estavam sendo considerados na década anterior. Com este objetivo, nos anos 80, foram criadas as primeiras normas ABNT do setor, visando estabelecer os primeiros critérios a serem atendidos nas instalações dos sistemas (PORTAL SOLAR, 2017). Já nos anos 90, as empresas começaram a estruturar o setor como um todo visando o seu fortalecimento, com isso, passaram a se associar à ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento (WGSOL, 2017).

No final da década de 90, mais precisamente em 1997, se iniciou o Programa Brasileiro de Etiquetagem para Coletores Solares Planos. Uma grande iniciativa do governo brasileiro em conjunto com a Associação Brasileira de Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento - ABRAVA, com a Eletrobrás/Procel e com a Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC Minas. Esta iniciativa visou promover uma maior eficiência energética dos equipamentos, os quais vinham sendo produzidos em maior número durante aquela década (PROCEL, 2012).

No início dos anos 2000, a utilização dos sistemas de aquecimento solar de água foi ainda mais incentivada no Brasil, dada a crise energética que o país passou naquela situação. Devido à falta de investimentos na geração e transmissão de energia, aliada à uma estiagem, que reduziu os níveis dos principais reservatórios de hidrelétricas, o

país não foi capaz de suprir a sua demanda de energia no ano de 2001, principalmente na região sudeste, ocasionando a necessidade de racionamentos, em determinados horários, que ficaram conhecidos na época como “apagões”. Essa crise gerou, no governo e na população em geral, a real noção da grande necessidade de redução do consumo de energia elétrica, o que promoveu o maior interesse por fontes de energia alternativa, entre elas, a energia solar e os sistemas de aquecimento solar de água (FREITAS, 2017).

Durante a maior parte da história do aquecimento solar no Brasil, os coletores mais utilizados foram os do tipo “coletor plano”, seguido pelos coletores abertos, que são utilizados apenas para o aquecimento de piscinas, e depois pelos coletores de “tubos evacuados” (Figura 2). Recentemente, com a entrada dos produtos chineses em diversas áreas do mercado brasileiro, os coletores de tubos evacuados produzidos na China se tornaram um pouco mais atrativos do que eram anteriormente, devido ao seu custo reduzido, passando assim a galgar uma maior participação no mercado nacional, mesmo sem ainda ameaçar a predominância dos demais tipos de coletores solares (RODRIGUES & MATAJS, 2010).

Figura 2 - Mercado nacional em 2008 com a baixa participação dos coletores de tubos evacuados

Fonte: (RODRIGUES & MATAJS, 2010)

4.1.1 Características dos coletores solares historicamente mais utilizados no Brasil

O coletor solar plano é uma caixa metálica com cobertura de vidro, a qual possui isolamento térmico em suas laterais e fundo, e uma placa absorvedora em seu interior (Figura 3). Ele possui o objetivo de absorver o máximo possível de radiação, que

passa pelo vidro, pela placa absorvedora, e reduzir as perdas térmicas do mesmo através do isolamento (RODRIGUES & MATAJS, 2010).

Figura 3 - Principais componentes de um coletor solar plano fechado

Fonte: (RODRIGUES & MATAJS, 2010)

Os coletores de tubos evacuados se baseiam no princípio da eliminação das perdas térmicas por convecção no coletor, dada a presença de vácuo no mesmo. Eles são compostos por diversos tubos de vidro, interligados por uma de suas extremidades, as que ficarão mais elevadas (Figura 4). Desta forma, a água que circula apenas pelos tubos com vácuo, expostos à radiação solar, transfere calor para a água a ser de fato consumida, através da interligação na parte mais elevada do coletor (RODRIGUES & MATAJS, 2010).

Figura 4 - Elementos de coletores de tubos evacuados

Fonte: (RODRIGUES & MATAJS, 2010)

Já os coletores abertos são utilizados para o aquecimento de piscinas. Dada a necessidade de temperaturas menos elevadas, os mesmos não possuem coberturas, facilitando a absorção da radiação solar, porém, possibilitando altos níveis de perdas térmicas e, então, não conseguindo atingir temperaturas para o banho, por exemplo.

4.2 A cadeia produtiva dos aquecedores solares no Brasil

Apesar de todos os benefícios dos sistemas de aquecimento solar, comprovados em diversos trabalhos científicos, os mesmos possuem um custo inicial mais elevado, principalmente em relação ao chuveiro elétrico e, além disso, há ainda uma falta de conhecimento a seu respeito por parte da grande população. Desta forma, é necessário que a demanda parta do poder público, visando trazer os benefícios da energia solar para todo o sistema energético do país.

Na China, por exemplo, diversas de suas cidades possuem legislações que exigem a instalação de sistemas de aquecimento solar de água, tendo em vista a redução da

poluição causada pelas fontes de energia comumente lá utilizadas. Em geral, as exigências são restritas ao âmbito de suas províncias. Outro ponto, bastante comum entre as exigências, é o foco nos edifícios públicos que demandam a utilização de água quente, como hospitais, escolas, clubes e banheiros públicos. Já no setor residencial, as exigências normalmente se restringem às edificações de 12 andares ou menos. Em alguns casos, as exigências chinesas fornecem formas de financiamento, treinamentos, aumento de conhecimentos, projetos modelo e, em um número menor de casos, até mesmo financiamento para a instalação dos sistemas, conseguindo então a redução da poluição de forma mais direta (XIE, 2012).

Já no Brasil, a crise energética de 2001 pode ser tida como o principal fator desencadeante para o incentivo público à instalação de sistemas de aquecimento solar (CARVALHO A. R., 2010). Desta forma, diversas cidades do país passaram a ter leis que exigem a instalação de sistemas de aquecimento solar em novas edificações, dependendo de critérios estabelecidos em cada cidade (BERMANN, 2011). Além disso, há cidades que estabeleceram leis de incentivos à instalação do sistema, através da redução de impostos para as edificações que os possuírem (SOARES & RODRIGUES, 2010).

O mercado brasileiro possui um número grande de fabricantes de sistemas de aquecimento solar, como pode ser visto na própria tabela do INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO, 2017a).

Além disso, a partir de 2015, começaram a existir algumas exigências de qualidade para fabricantes e importadores através de uma certificação, o CertificaSol. Este projeto é financiado pela GIZ (Agência de Cooperação Internacional do Governo da Alemanha) em parceria com a ABRAVA, e visa a certificação compulsória dos equipamentos de aquecimento solar, de modo a adequar os produtos e então fortalecer toda a sua cadeia produtiva (ABRAVA, 2015).

Em relação ao projeto de um sistema de aquecimento solar, na maioria das vezes, ele é realizado pelo próprio fabricante (PINI, 2009). Nos casos em que há um projetista a parte do fabricante, o projeto do sistema recebe um percentual pequeno da verba para a obra como um todo, da mesma forma que os demais projetos de uma edificação. Este percentual menor de verba para os projetos como um todo, impacta ainda mais nos projetos de aquecimento solar pois, sendo este um sistema novo são necessárias mais pesquisas, mas o baixo orçamento faz com que a busca de conhecimento sobre o mesmo seja retardada, o que impacta até no seu desempenho final. Visando a

qualidade do sistema, através do projeto, existe uma norma técnica brasileira que estabelece critérios mínimos a serem seguidos na elaboração do projeto, a NRB 15.569:08 – Sistema de aquecimento solar em circuito direto (ABNT, 2008).

Já as construtoras foram afetadas diretamente pelas leis de exigência de instalação dos sistemas de aquecimento solar, pois, é um sistema a mais a ser incorporado na edificação, participando de vários dos processos ligados à sua incorporação e construção. Uma das grandes queixas das construtoras, quanto a exigência dos sistemas de aquecimento solar, é a falta de consenso sobre as soluções técnicas. Como a cidade de São Paulo é muito verticalizada, há desafios técnicos maiores a serem enfrentados para a instalação e, por estes ainda não estarem plenamente resolvidos, os mesmos são a grande questão das construtoras (PINI, 2008).

Diferente da mão de obra normalmente encontrada nos canteiros das obras, para realizar a instalação de sistemas de aquecimento solar é necessária uma qualificação específica, dada as tecnologias novas e não usuais destes sistemas. O SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial) possui um curso chamado “Instalação de Aquecedor Solar” (SENAI, 2017). Já a Universidade do Sol oferece cursos de qualificação online, facilitando o acesso ao mesmo (UNIVERSIDADE DO SOL, 2017). A Tabela 1, a seguir, apresenta de forma resumida a posição de cada agente da cadeia de produção de sistemas de aquecedores solares em relação aos mesmos, facilitando a sua visualização.

Tabela 1- Posicionamento dos agentes quanto a instalação dos aquecedores solares

	Incentivo	Neutro	Com questões a serem resolvidas
Poder público	X		
Fabricantes	X		
Projetistas			X
Construtoras			X
Mão de obra		X	
Comércio		X	

Fonte: Autor

Há dois agentes de grande relevância em lados opostos. O poder público é o maior incentivador dos aquecedores solares e, por outro lado, as construtoras ainda

possuem a questão da barreira técnica a ser vencida. Com isso, se reforça a necessidade de estudos que visem a resolução das lacunas técnicas dos sistemas

4.3 Questões técnicas externas aos sistemas

4.3.1 Condições meteorológicas da cidade de São Paulo para a instalação de sistemas de aquecimento solar

Independentemente da forma de uso, a energia solar é dependente de fatores meteorológicos e, por consequência, do clima do local da instalação do sistema que irá utilizá-la, principalmente no caso do aquecimento de água. Portanto, a análise do clima local se faz de extrema importância para a avaliação do contexto geral da instalação de sistemas de aquecimento solar de água.

Para a análise do clima da cidade de São Paulo, no site do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2017), foram obtidos os dados referentes aos valores diários dos últimos 10 anos, de temperatura máxima, mínima e insolação. A partir de tais dados e da utilização de um *software* chamado Tableau, que é um *software* para o auxílio da visualização de dados, são analisadas as variações dos mesmos.

É possível verificar que mesmo em dias com temperaturas médias baixas, as temperaturas máximas registradas ficam acima de 11,9°C (Gráfico 1), ou seja, muito elevadas se comparadas com países que chegam a registrar temperaturas negativas, mas que ainda sim utilizam-se de sistemas de aquecimento solar. Além disso, mesmo durante as estações mais frias do ano, é possível observar diversos dias com temperaturas máximas acima de 25°C (Gráfico 1), ou seja, dias com irradiação solar propícia para o funcionamento dos sistemas de aquecimento solar de água, mesmo em estações frias.

Gráfico 1 - Variação da temperatura média diária da cidade de São Paulo

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de INMET (2017)

As altas temperaturas máximas registradas em São Paulo em épocas frias representam o fenômeno da grande amplitude térmica que ocorre, principalmente, entre o final do inverno e o início do verão (Gráfico 2). Este fenômeno pode auxiliar muito a produção de água aquecida pela energia solar, pois, nos dias em que este fenômeno ocorre, mesmo a média de temperatura sendo baixa, devido as baixíssimas temperaturas registradas à noite e no início das manhãs, são alcançadas temperaturas mais elevadas, com maiores níveis de irradiação solar, durante as tardes e nos finais das manhãs, horários nos quais ocorre o funcionamento dos sistemas de aquecimento solar de água.

Gráfico 2 - Amplitude térmica diária na cidade de São Paulo

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de INMET (2017)

Sob o aspecto ambiental, o clima da cidade de São Paulo é propício para a instalação do sistema pois, a instalação de sistemas de aquecimento solar de água nas regiões mais frias do país se torna ainda mais atrativa. Em Curitiba-PR, por exemplo, um sistema de aquecimento solar de água é capaz de promover a redução de emissões de CO₂ em 41 kg por ano. Se instalado em Imperatriz-MA, este mesmo sistema é capaz de reduzir as emissões de CO₂ em apenas 12 kg por ano. Esses dados mostram um benefício ambiental muito superior do sistema, devido apenas ao fato do mesmo estar locado em uma região mais fria do que em uma mais quente do país (BESSA & PRADO, 2015).

4.3.2 *Legionella Pneumophila*

A temperatura da água, fria ou já aquecida, é muito significativa para a produção dos sistemas de aquecimento solar, como já mencionado anteriormente, mas também pode vir a influenciar na transmissão de doenças, através do sistema de abastecimento, devendo ser controlada sob esse aspecto.

Sistemas de distribuição de água, onde a temperatura da mesma fique entre 20°C e 45°C, são locais propícios para a proliferação de bactérias. A bactéria *Legionella Pneumophila* é um exemplo de bactéria que se prolifera em um ambiente nestas

condições e que causa doenças, podendo até levar a morte dos indivíduos infectados. Quando da proliferação desta bactéria em sistemas de distribuição de água, a mesma é transmitida aos usuários do sistema pelas gotículas de água liberadas no ar durante seu consumo (UNITED KINGDOM, 2017).

A doença dos Legionários é a forma mais grave da Legionelose, grupo de doenças causadas pela bactéria *Legionella Pneumophila*. Esta forma mais grave é uma séria infecção pneumônica, uma forma de pneumonia fatal, causada pela inalação da bactéria *Legionella Pneumophila*. Outras formas mais brandas são a Febre de *Pontiac* e a Febre de *Lochgoilhead*. Todas as formas de Legionelose, as mais brandas e a mais grave, são muito confundidas com gripes convencionais, dificultando o seu diagnóstico (EUROPEAN GUIDELINES WORKING GROUP et al, 2017).

Para a não ocorrência da *Legionella Pneumophila* em sistemas prediais de água quente, os sistemas já devem ser projetados de modo a impedir que a água fique entre temperaturas de 20°C a 45°C, pois, abaixo de 20°C a bactéria fica adormecida e acima de 60°C ela não sobrevive. Para tanto, algumas medidas devem ser tomadas no projeto, como: a água quente deve ser reservada sempre com temperaturas de 60°C ou acima; a água quente deve ser distribuída com temperaturas de pelo menos 50°C; a água fria deve ser armazenada e distribuída com temperaturas abaixo de 20°C; as tubulações de distribuição de água devem ser sempre as mais curtas e se encaminharem pelos caminhos mais diretos possíveis até os pontos de consumo; os isolamentos térmicos das tubulações e reservatórios devem ser devidamente projetados para manter a temperatura da água alta; os materiais projetados para o sistema não devem estimular a proliferação da *Legionella Pneumophila*; não devem ser projetados trechos de tubulações onde a água possa ficar acumulada, como em pontos de consumo que serão pouco utilizados; e toda a instalação deve ser projetada de modo a facilitar a sua limpeza e desinfecção periódica (UNITED KINGDOM, 2017).

O risco da proliferação da *Legionella Pneumophila* ainda se eleva conforme o sistema aumenta de tamanho como, por exemplo, em edifícios altos ou multifamiliares. Um modo de evitar isso é programar uma solução de manutenção automática, com a circulação de água à uma temperatura superior à 70°C, a qual é capaz de eliminar instantaneamente qualquer bactéria do sistema. Porém, um sistema com água a tal temperatura é perigoso para o consumo humano. Portanto, outra solução é ter um sistema indireto de água quente, no qual a água que circula pelas maiores distâncias

do sistema não é consumida, apenas troca calor com a água a ser consumida, através de um trocador de calor de placas, por exemplo, em um local já próximo ao ponto de consumo (COLMENAR-SANTOS, 2014).

4.3.3 Padrões de consumo de água quente

Os sistemas de aquecimento solar são muito influenciados pelos seus elementos de entrada, ou seja, os elementos coletados pelo sistema e que serão transformados por ele, principalmente pelo clima do local onde os mesmos estão instalados conforme discutido anteriormente. Porém, os elementos de saída, ou seja, o que o sistema entrega para consumo, também possuem influência no desempenho dos sistemas. A forma de consumo da água aquecida pela energia solar pode influenciar a eficiência do sistema como um todo, tanto em relação a sua quantidade, como em relação ao momento do dia em que a mesma é consumida, devido à interação das entradas, ou insumos (radiação, por exemplo), com a demanda por suas saídas (água quente).

Com o intuito de verificar a influência do consumo na eficácia do sistema, são levantados alguns padrões de consumo para posterior verificação.

Na Grécia, entre os anos de 1990 e 1991, foi realizado um estudo visando, especificamente, definir os padrões de consumo de água quente para o país. Para a realização deste estudo, foram coletados dados de consumo de alguns apartamentos, os quais eram abastecidos por sistemas com bombas de calor e por sistemas com o uso da energia solar. Neste estudo foram estabelecidos alguns padrões, inclusive a relação entre o tamanho das famílias e o consumo diário de seus indivíduos (PAPAKOSTAS, PAPAGEORGIOU, & SOTIROPOULOS, 1995).

O Gráfico 3 e o Gráfico 4, abaixo, apresentam os padrões de consumo de todas as famílias, tanto durante os dias de semana, quanto aos finais de semana.

Gráfico 3 - Consumo de água quente total das famílias durante os dias úteis - horas X percentagem horária do uso diário total

Fonte: (PAPAKOSTAS, PAPAGEORGIOU, & SOTIROPOULOS, 1995)
traduzido pelo autor

Gráfico 4 - Consumo de água quente total das famílias durante os finais de semana - horas X percentagem horária do uso diário total

Fonte: (PAPAKOSTAS, PAPAGEORGIOU, & SOTIROPOULOS, 1995)
traduzido pelo autor

Por volta do ano de 1986, um estudo parecido foi realizado nos Estados Unidos, mais precisamente em São Francisco, na Califórnia. Neste estudo, foram monitorados quatro edifícios de apartamentos de interesse social. O consumo de água quente da população desses apartamentos foi monitorado de 4 a 6 meses, e entrevistas foram realizadas de modo a se avaliar o seu padrão de consumo (VINE, DIAMOND, & SZYDLOWSKI, 1987).

O Gráfico 5 apresenta os padrões de consumo, tanto em dias úteis, como em finais de semana, encontrados no estudo realizado em São Francisco na Califórnia.

Gráfico 5 - Média dos consumos de água quente dos edifícios estudados em São Francisco, durante os dias úteis e finais de semana

Fonte: (VINE, DIAMOND, & SZYDLOWSKI, Domestic hot water consumption in four low-income apartment buildings, 1987) traduzido pelo autor

Há um consumo praticamente constante durante as madrugadas, tanto em dias úteis, como aos finais de semana, sendo que em ambos o volume é igual. Avaliando as condições do sistema, encontrou-se pontos de vazamentos, os quais eram os responsáveis por esse consumo encontrado a partir das medições (VINE, DIAMOND, & SZYDLOWSKI, 1987). Além disso, devido ao fato da população ser muito específica, é possível que os seus padrões de consumo de água quente não sejam refletidos para a população em geral.

A ASHRAE (Sociedade americana dos engenheiros de aquecimento, refrigeração e ar condicionado) também propõe um padrão de consumo de água quente durante as

horas de um dia, de forma a basear os projetos de sistemas de água quente (Gráfico 6).

Gráfico 6 - Perfil da demanda diária de água quente

Fonte: (HANG, QU, & ZHAO, 2012) traduzido pelo autor

Um estudo realizado na cidade de São Paulo (PRADO & GONÇALVES, 1998) analisou o consumo de chuveiros elétricos instalados em edificações de interesse social. Foi obtido como resultado um padrão de consumo de energia elétrica por hora por apartamento (Gráfico 7), com uma divisão referente à quantidade de energia consumida exclusivamente pelo chuveiro elétrico. Com tal informação, é possível definir uma porcentagem horária de consumo de água pelo chuveiro elétrico, admitindo um consumo de água proporcional ao consumo elétrico.

Gráfico 7 - Perfil da demanda elétrica total e a participação do chuveiro elétrico na mesma
Demanda (W)

Fonte: (PRADO & GONÇALVES, 1998) traduzido pelo autor

Para a definição da porcentagem horária, é necessário separar do Gráfico 7 apenas o consumo elétrico por hora do chuveiro, posteriormente, obter o total diário de consumo e, por fim, definir a porcentagem de consumo em cada hora em relação ao consumo total diário. Os resultados de porcentagem diária de consumo a partir do estudo realizado na cidade de São Paulo estão na Tabela 2

Tabela 2 – Porcentagem de consumo baseado no estudo de São Paulo

Hora do dia	Porcentagem de consumo
1:00	1,30
2:00	0,67
3:00	1,00
4:00	1,68
5:00	4,38
6:00	5,39
7:00	3,37
8:00	5,05
9:00	2,69
10:00	3,37
11:00	4,04
12:00	4,71
13:00	4,04
14:00	2,69
15:00	2,02
16:00	5,05
17:00	4,71
18:00	10,00
19:00	7,41
20:00	9,43
21:00	5,39
22:00	4,71
23:00	4,71
24:00	2,00

Fonte: Autor baseado em PRADO & GONÇALVES, 1998

Analisando esses estudos, fica nítido que a cultura local altera diretamente os padrões de consumo, portanto, é necessário que se leve em consideração as variações do mesmo ao investigar se eles têm impacto na eficácia do sistema.

4.3.4 Volume total de água quente consumido por habitante

O volume total de água quente consumido por cada habitante também é variável conforme sua cultura, hábitos, situação econômica, aparelhos que utilizam água quente, entre outros fatores.

Tanto o estudo grego, como a ASHRAE, propõe valores de consumo diário de água quente por habitante. São propostos 32,2 litros/dia/pessoa a 42°C (PAPAKOSTAS, PAPAGEORGIOU, & SOTIROPOULOS, 1995) e 50 litros/dia/pessoa a 60°C (ASHRAE, 2007) respectivamente.

Esses valores são de extrema importância para o dimensionamento dos sistemas, e devem estar o mais alinhado possível com os hábitos dos usuários do sistema em dimensionamento. Portanto, deve-se alinhar o consumo diário total de água quente com os hábitos dos usuários, anteriormente ao início do dimensionamento de um sistema de aquecimento através da energia solar.

4.4 Questões técnicas referentes aos sistemas

4.4.1 Sistemas prediais convencionais de água quente

Os tipos de sistemas prediais convencionais de água quente podem ser divididos em algumas categorias, tanto pela sua forma de produção de água quente, como pela sua distribuição. A produção de água quente sempre se dá por uma fonte de energia térmica que transferirá calor à água em temperatura ambiente, fazendo com que a água alcance a temperatura desejada para o seu consumo. A forma como uma fonte de energia térmica se relaciona com a água é que difere em algumas das categorias. Já as diferentes formas de distribuição são os meios para que a água, aquecida por uma determinada fonte de energia térmica, seja encaminhada aos pontos onde será realizado o seu consumo (ILHA, GONÇALVES, & KAVASSAKI, 1994).

4.4.1.1 Instantâneo individual

A primeira categoria a ser analisada é o sistema instantâneo individual. Neste sistema, o aquecimento da água é realizado já, e unicamente, no ponto onde a mesma será consumida e, por isso, é chamado de individual. O aquecimento da água, neste caso, é realizado por um aquecedor como, por exemplo, o chuveiro elétrico (Figura 5). No chuveiro elétrico, a água é aquecida por uma resistência elétrica, a qual é acionada pelo próprio fluxo de água. Desta forma, a água é aquecida tão logo o seu consumo é necessário, e diretamente no ponto onde será consumida (ILHA, GONÇALVES, & KAVASSAKI, 1994).

Figura 5 - Chuveiro elétrico

Fonte: (ILHA, GONÇALVES, & KAVASSAKI, 1994)

Esta categoria possui vantagens e desvantagens se comparada as demais que serão analisadas. A principal vantagem é o fato de não ser necessária uma rede de tubulações para realizar o transporte da água quente, reduzindo drasticamente as necessidades de projeto, instalação, mão-de-obra e de materiais. Uma outra vantagem que pode ser observada é a inexistência de perda térmica neste sistema, pois, como a água é aquecida diretamente no seu ponto de consumo, todo o calor da água chega ao seu consumidor, sem nenhuma perda no caminho, também inexistente. Já a grande desvantagem é o fato de se utilizar uma imensa quantidade de energia elétrica, em um curto período, para elevar a temperatura da água instantaneamente. Quando esta categoria se torna muito utilizada em um país, o alto

consumo de eletricidade, em um curto período, gera a necessidade de um sistema robusto de geração e transmissão de energia. Sendo assim, apesar das vantagens desta categoria, a mesma vem sendo desestimulada, de forma a desonerar os sistemas de geração de energia elétrica.

4.4.1.2 Instantâneo privado

A segunda categoria a ser estudada é o instantâneo privado. Este tipo de sistema também realiza o aquecimento da água somente quando há a demanda pela mesma, porém, diferente do sistema instantâneo individual, este sistema atenderá mais de um ponto de consumo de uma unidade privativa de habitação, simultaneamente. Ou seja, por exemplo, um ponto de aquecimento instantâneo atenderá todos os pontos de consumo de um dado apartamento (ILHA, GONÇALVES, & KAVASSAKI, 1994).

No tipo de sistema instantâneo privado, a água é aquecida através de um aquecedor de passagem a gás, por exemplo (Figura 6). Quando ocorre a demanda por água quente, um fluxo de água passará pelo aquecedor, acionando uma chama a gás, que fica no centro de uma serpentina, por onde passará a água a ser aquecida. Desta forma, a água entra fria no aquecedor, passa pela serpentina que está sendo aquecida pela chama a gás, se aquece instantaneamente e sai do aquecedor, já plenamente aquecida, e segue em direção aos diversos pontos de consumo que a mesma atenderá (ILHA, GONÇALVES, & KAVASSAKI, 1994).

Figura 6 - Aquecedor a gás de passagem

Fonte: (ILHA, GONÇALVES, & KAVASSAKI, 1994)

Como, nesta categoria, o sistema atende mais de um ponto de consumo de água quente, e o local do aquecimento da água fica distante dos mesmos, se faz necessária uma rede de tubulações que encaminharão a água aquecida, da sua produção ao seu consumo. Esta rede precisa ser o mais curta e direta possível, pois, a água que ficar parada na mesma, enquanto não estiver ocorrendo nenhum consumo de água quente, perderá o seu calor para o entorno, que é mais frio, normalmente. A água que perder o seu calor dentro da tubulação será descartada até que uma água com a temperatura desejada chegue ao ponto de consumo. Sendo assim, a rede de tubulações para o transporte da água aquecida deve ser projetada e executada de modo a evitar, tanto o desperdício de energia com as perdas térmicas na tubulação, como o desperdício no descarte da água que já estiver parcialmente resfriada.

4.4.1.3 Acumulação privado

Uma terceira categoria é composta pelos sistemas de acumulação privados. Estes sistemas também atendem os diversos pontos de consumo de água quente de um determinado apartamento ou unidade privativa habitacional. A grande diferença, porém, é o modo como a água é aquecida. Neste sistema, a água deixa de ser

aquecida no momento da demanda pela mesma, passando a ser previamente aquecida e armazenada na temperatura ideal para o seu uso. Portanto, se faz necessário, além da rede de tubulações para levar a água quente da sua produção aos seus pontos de consumo, também um reservatório térmico que manterá a água aquecida e pronta para atender a sua demanda (ILHA, GONÇALVES, & KAVASSAKI, 1994).

O aquecimento da água pode ocorrer, tanto internamente, como externamente ao reservatório. Nos sistemas chamados conjugados, que são menos comuns, há um aquecedor de passagem a gás que, ao invés de aquecer a água e enviá-la diretamente aos pontos de consumo, aquece a água e a envia para o reservatório térmico, indo deste para os pontos. Já os reservatórios térmicos que já contém em seu interior a fonte energética para o aquecimento da água, que pode ser tanto elétrica ou a gás, são mais comuns. Neste sistema, se a fonte de energia for elétrica, a água será aquecida por uma resistência dentro do reservatório. Porém, se a fonte de energia for a gás, a água será aquecida por uma chama na parte inferior do reservatório (Figura 7). Sendo o aquecimento interno ou externo ao reservatório, o mesmo ocorrerá sempre que a temperatura da água do reservatório ficar inferior a um limite pré-determinado (aferido por um termostato), seja pelas perdas térmicas ao ambiente, ou seja devido ao consumo da água aquecida e entrada de nova água fria no reservatório (ILHA, GONÇALVES, & KAVASSAKI, 1994).

Figura 7 - Aquecedor a gás de acumulação

Fonte: (ILHA, GONÇALVES, & KAVASSAKI, 1994)

Esse tipo de sistema também possui algumas vantagens e desvantagens. Uma das desvantagens deste sistema, além do fato do mesmo ser mais robusto, é que as perdas térmicas podem vir a ser maiores e, devido ao fato do sistema repor com frequência tais perdas, o seu consumo de energia pode vir a ser maior. Já, dentre as suas vantagens estão a sua capacidade de atender maiores demandas ao mesmo tempo, visto que um volume significativo de água já está aquecido e pronto para uso, e, principalmente, a possibilidade de instalação de uma tubulação de retorno em grandes redes de distribuição de água quente, no qual a água da tubulação também já se mantém aquecida, reduzindo o tempo de espera do usuário e praticamente eliminando o desperdício de água resfriada.

4.4.1.4 Acumulação coletivo

A quarta e última categoria é a dos sistemas de acumulação coletivos. Estes sistemas são similares aos de acumulação privados, porém, eles ultrapassam os limites da unidade privativa e atendem a todas as unidades de um edifício de apartamentos ou, também, a todos os quartos de um hotel, a todos os leitos de um hospital, enfim, a todos os pontos de consumo de uma edificação inteira (ILHA, GONÇALVES, & KAVASSAKI, 1994).

Neste sistema, o aquecimento da água também não é realizado de forma instantânea, mas previamente aquecido e reservado um volume de água que seja suficiente para o atendimento de todas as unidades privativas de um edifício residencial, por exemplo. Todas as variáveis de formas de aquecimento que existem nos sistemas de acumulação privados também são válidas para os sistemas de acumulação coletivos, porém, com tamanhos ou números de equipamentos muito superiores. Desta forma, pode-se ter vários reservatórios com resistência elétrica ou com chama a gás ou, de forma até bastante comum, alguns aquecedores a gás de passagem que aquecem a água a ser enviada para grandes reservatórios térmicos (ILHA, GONÇALVES, & KAVASSAKI, 1994).

Devido às maiores distâncias a serem percorridas pelas tubulações de água quente neste tipo de sistema, este aspecto do mesmo deve demandar uma maior atenção do que nos demais tipos de sistemas. Como já citado anteriormente, ocorrem perdas térmicas quando a água se encontra na tubulação e, com as grandes distâncias percorridas neste tipo de sistema, elas ocorrem em maior quantidade e não é admissível o desperdício da água que já estiver se resfriado, devido ao maior seu volume. Desta forma, a recirculação da água nas tubulações, de forma a mantê-las aquecidas, é de fundamental importância em sistemas coletivos (Figura 8). Além disso, alternativas devem ser analisadas de forma a avaliar qual é a melhor opção para o caminharmento de tais tubulações, tanto para que as mesmas sejam o mais curtas e diretas possível, como para possibilitar a manutenção adequada das mesmas e a medição individualizada do consumo de cada uma das unidades privativas.

Há diversas formas de se realizar a distribuição da água aquecida de forma coletiva para cada uma das unidades privativas, porém, o atendimento a alguns novos critérios vêm sendo requerido, o que adiciona complexidade aos sistemas de distribuição de água quente.

Figura 8 - Exemplo de sistema de acumulação central com recirculação

Fonte: (ILHA, GONÇALVES, & KAVASSAKI, 1994) – Ajustado pelo autor

A primeira grande influência na distribuição de água quente é a localização da sua geradora, a qual pode estar tanto no topo de um edifício, como na sua base. Sendo assim, os sistemas podem ser tanto ascendentes, como descendentes, ou mistos. Estando a geradora no topo do edifício, o sistema será sempre descendente. Porém, se a geradora estiver na base do edifício, o sistema pode ser totalmente ascendente ou misto, com algumas colunas ascendentes que, ao chegar ao topo do edifício, passam a atender todos os pontos de forma descendente (ILHA, GONÇALVES, & KAVASSAKI, 1994).

As colunas, sejam elas ascendentes ou descendentes, também podem ser feitas de forma concentrada ou dividida. Na forma dividida existiria uma coluna para cada projeção de ambiente sanitário com uso de água quente, ou seja, para um apartamento com três banheiros, haveriam três colunas de água quente diferentes para o seu atendimento. Já na forma concentrada, existiria um número muito menor de colunas, podendo ser apenas uma única coluna em uma área comum do edifício, de onde sairia um ramal para o atendimento de cada apartamento por inteiro. Ou seja, cada apartamento seria alimentado por um ramal exclusivo, o qual vem de uma coluna que alimenta todos os ramais de todos os apartamentos, andar por andar.

A vantagem de se ter colunas distribuídas para cada ambiente é que se evita o caminhamento horizontal das tubulações, gerando menos impacto estético dentro dos apartamentos e, dependendo da configuração do edifício, esta configuração pode

gerar também uma economia de material das tubulações devido ao fato do caminhamento das mesmas ser menor.

Já a vantagem de se ter uma única coluna de água quente com ramais abastecendo cada um dos apartamentos ou unidades privativas por completo, é a maior facilidade em se conseguir realizar a medição individualizada dos consumos. Quando se tem um único ponto de entrada de água quente em uma unidade privativa, neste ponto é possível se medir o consumo de toda a unidade, principalmente se o mesmo estiver locado em uma área comum do edifício.

Para se ter a medição individualizada do consumo de água quente, pode se ter um hidrômetro no ramal de abastecimento de cada apartamento, porém, este hidrômetro deve ser adequado à temperatura da água.

Devido ao fato de hidrômetros para água quente não serem tão comercializados quanto os de água fria, pode-se optar por um sistema fechado de água quente, com a troca de calor entre a água fria já medida de cada unidade privativa e a água aquecida pelo sistema coletivo. Neste caso se faz necessária a instalação de um trocador de calor de placas, entre outros acessórios, para cada uma das unidades privativas. Desta forma, a água quente que será produzida pelo sistema coletivo não será de fato consumida, mas será um meio de transporte de energia, do sistema gerador para cada uma das unidades (Figura 9).

Figura 9 - Exemplo de sistema fechado de água quente

Fonte: (COMGÁS, 2011)

Portanto, é possível observar as diversas possibilidades de distribuição de água quente de sistemas convencionais, inclusive suas vantagens, desvantagens e restrições.

Ao se inserir uma fonte alternativa de energia, como a energia solar, a mesma pode vir a requerer alguns ajustes no sistema para a sua melhor adequação. Sendo assim, um estudo analítico cuidadoso se faz necessário para que, tanto a fonte convencional, como a fonte alternativa de energia funcionem plenamente e atendam a demanda.

4.4.2 Principais preocupações na instalação de sistemas de aquecimento solar de água em localidades distintas

Para a avaliação das preocupações mais significativas, quando se deseja utilizar a energia solar para o aquecimento da água de uso doméstico, analisou-se diversos periódicos internacionais, com publicações de países diferentes, tendo em vista como cada um deles lidavam com os sistemas de aquecimento solar de água utilizados em edifícios multifamiliares. Ao se obter um número relativamente expressivo de artigos científicos, classificam-se os mesmos quanto a localização, objetivos, características dos sistemas, e barreiras gerais a serem ultrapassadas em cada localidade.

Como as necessidades de cada região são muito variáveis, dividem-se os estudos em quatro grandes áreas: Estados Unidos, Europa, Índia e China. Para cada uma dessas áreas, são apresentadas as características dos artigos produzidos nas mesmas e o contexto que os unem.

4.4.2.1 Estados Unidos da América

Os artigos científicos realizados nos Estados Unidos da América, encontrados durante a pesquisa do presente estudo, são datados dos anos 70 e 80, em grande parte. Este fato é devido a oscilação do incentivo do governo norte-americano aos sistemas de aquecimento solar que, por muitas vezes, perdeu competitividade devido a redução das tarifas de outras fontes energéticas, como o gás e a eletricidade. Um exemplo disso foi o início do uso de sistemas de aquecimento solar na Califórnia em 1920, o qual não prosseguiu devido ao aumento da competitividade do gás na região (STUART, 1980). Já um outro estudo aponta um pico no interesse pela energia solar térmica na década de 70, devido um embargo ao petróleo ocorrido em 1973, e essa

foi então a motivação para o estudo, o qual trata dos diversos aspectos a serem trabalhados quando se tem como objetivo a difusão da utilização da energia solar para o aquecimento da água (HIRSHBERG & SCHOEN, 1974).

Sendo assim, a maior motivação dos estudos norte-americanos é o funcionamento do sistema de fato e as formas para a sua difusão. Um exemplo disso é o estudo que verifica qual seria a melhor fonte de energia para auxiliar o sistema de aquecimento solar. Devido às grandes dimensões dos Estados Unidos, as disponibilidades de fontes de energia são diversas, portanto, o estudo foi realizado para três regiões distintas no país: Los Angeles, Atlanta e Chicago. Concluiu-se que, nas três regiões, a melhor fonte de energia para auxiliar o sistema solar era o gás pois, independentemente da região, o mesmo possuía uma boa eficiência e um custo adequado (HANG, QU, & ZHAO, 2012).

Referente aos sistemas de aquecimento solar de água com auxílio a gás, analisou-se um sistema já instalado em 4 edifícios de apartamento, com um total de 48 unidades privativas, quanto a sua produção e atendimento a demanda. Os edifícios analisados eram habitações de interesse social que contavam, desde a sua construção, com um sistema de aquecimento de água central a gás, o qual foi adaptado para um sistema de aquecimento solar de água com apoio a gás, 6 meses antes da realização do estudo. Foram analisados inicialmente os padrões de consumo de água quente, os quais apresentaram picos de consumo nos períodos da manhã e noite. Quanto ao funcionamento do sistema de fato, o maior problema encontrado foram alguns pontos de vazamentos, que foram descobertos devido a um consumo constante encontrado em períodos noturnos, o quais não deveriam possuir consumo. Esta falha foi encontrada devido a presença de medidores de consumo, porém, o objetivo dos mesmos era apenas o controle do sistema e não a individualização do mesmo. Desta forma, concluiu-se que alguns ajustes no sistema eram necessários para o seu perfeito funcionamento (VINE, DIAMOND, & SZYDLOWSKI, 1987).

Analisando os artigos norte-americanos, pode-se observar que a principal questão não é a viabilização técnica da implantação dos sistemas de aquecimento solar, tão pouco as formas de se ter medição individualizada. Isso pode se dever ao fato dos sistemas de aquecimento de água na região, mesmo sem o uso da energia solar, já serem comumente centrais e sem medição individualizada, portanto, a implantação da energia solar não alterou significativamente, em termos técnicos, o sistema de água quente existente. Desta forma, o foco dos artigos norte-americanos é,

fundamentalmente, quanto a viabilização econômica da implantação dos sistemas de aquecimento solar.

4.4.2.2 Europa

Devido ao fato das cidades europeias já serem muito urbanizadas, boa parte dos esforços relacionados à implantação de sistemas de aquecimento solar são relacionados à fase de reforma dos edifícios. Um estudo apresenta diversas formas de utilização da energia solar em edifícios existentes, através de reformas. Foram apresentadas formas de utilizar a energia solar para o aquecimento de água, para o aquecimento dos ambientes através das varandas e, também os benefícios quanto ao isolamento térmico, entre outros (VOSS, 2000).

Inclusive, este estudo mostra o desejo de se aproveitar ao máximo a energia solar, mesmo em uma região com níveis de irradiação muito menores que no Brasil, por exemplo. Na Alemanha, um país com invernos rigorosos, foi estudado um sistema de acumulação de água aquecida, através da energia solar térmica, que fosse capaz de garantir a utilização de tal água mesmo durante os meses mais frios do ano. Para tanto, foi proposto um sistema sazonal distrital, ou seja, coletores solares foram locados nos telhados de alguns edifícios de poucos andares e a água aquecida por tais coletores é enviada a um grande reservatório térmico enterrado, sendo que a partir do mesmo são abastecidos os diversos edifícios da região. Devido ao grande porte do reservatório, a boa estratificação do mesmo, e ao seu isolamento proporcionado pelo solo, é possível manter o calor adquirido nos meses mais quentes até os meses mais frios do ano (SCHMIDT, MANGOLD, & MÜLLER-STEINHAGEN, 2004).

Já na Suíça, também se estudou um sistema sazonal, porém, dessa vez não distrital, mas sim apenas para um único edifício. Em um edifício multifamiliar, foi instalado um grande reservatório térmico que ocupa o centro do edifício por todos os andares, com três trocadores de calor de forma a dividir melhor as zonas térmicas dentro do mesmo. Esse sistema apresenta um bom ciclo de vida em comparação à outras fontes de energia, e uma boa redução do consumo de fontes de energia primária, além da redução da emissão de gases do efeito estufa. Porém, resultados não tão bons foram encontrados em relação ao uso de recursos naturais, devido aos processos industriais utilizados na produção dos coletores e demais equipamentos do sistema (SIMONS & FIRTH, 2011).

Para edifícios mais altos da Sérvia, também passando por reformas, estudou-se a implantação de coletores solares na fachada de dois edifícios de residências estudantis, de forma que os mesmos pudessem contar com os benefícios do aquecimento de água através da energia solar. Foram estudadas diversas alternativas, como a instalação dos coletores solares em duas faixas das duas fachadas mais favoráveis, ou a instalação nas varandas nos apartamentos dos últimos andares da fachada mais favorável, sendo que foram analisados dois diferentes ângulos de instalação dos coletores, tendo em vista avaliar qual teria o maior desempenho e qual seria o efeito estético na fachada do edifício. Independentemente da posição dos coletores, o sistema de água quente seria centralizado e sem individualização, até mesmo pela característica estudantil da edificação (FURUNDZIC, KOSORIC, & GOLIC, 2012).

Outro ponto interessante dos estudos europeus é o padrão de consumo de água quente apresentado no estudo realizado na Grécia, um país com um clima mais ameno e mais próximo ao brasileiro. Este estudo aponta que mesmo em dias úteis o consumo de água quente é quase que uniformizado durante o período diurno e as primeiras horas da noite (PAPAKOSTAS, PAPAGEORGIOU, & SOTIROPOULOS, 1995). Este fato beneficia positivamente o desempenho do sistema de aquecimento solar de água, pois, há o consumo quase que imediato da água aquecida pela energia solar fornecida durante o dia, reduzindo-se assim as perdas térmicas que invariavelmente ocorrem durante o armazenamento da água quente no período noturno (LI, DAI, & WANG, 2015).

Desta forma, as principais questões apresentadas nos estudos europeus são referentes ao padrão de consumo de água quente, a adequação do sistema à edifícios existentes e a reserva de calor durante o maior período possível, para que o mesmo seja utilizado inclusive nos meses mais frios do ano.

4.4.2.3 Índia

A Índia, como o Brasil, é um país em desenvolvimento onde o custo inicial da instalação do sistema de aquecimento solar de água é uma das grandes barreiras para a sua difusão. Com isso, vários estudos são focados, tanto no período de retorno do investimento inicial no sistema, como em políticas públicas que incentivem essa difusão, aumentando a industrialização e então reduzindo os seus custos. Um

exemplo disso é o estudo onde são exploradas as diversas oportunidades nas quais seria possível a utilização da energia solar na Índia e, por outro lado, os diversos desafios a serem enfrentados, como o aumento da capacitação dos profissionais locais e o aumento dos incentivos públicos, entre outros (VEERABOINA & RATNAM, 2012).

Por outro lado, um estudo muito importante, com relação aos sistemas para edifícios altos, foi realizado na Índia e é mais voltado ao lado técnico pois, trata da reposição de água fria no reservatório térmico de sistemas de aquecimento solar. O objetivo deste estudo era a redução das perdas térmicas que ocorrem na mistura da água fria, que abastece o reservatório, com a água quente reservada no mesmo. Essa redução de perdas é especificamente mais importante para edifícios altos pois, com menos perdas é necessária uma produção menor de calor, ou seja, é possível uma redução na área necessária de coletores, facilitando a sua instalação em edifícios altos, onde uma das maiores restrições para o sistema é a área disponível para a instalação dos coletores (KULKARNI, KEDARE, & BANDYOPADHYAY, 2009).

4.4.2.4 China

O sistema mais comum encontrado nos edifícios chineses é um sistema individual para cada unidade privativa, locado na cobertura dos edifícios (LI, DAI, & WANG, 2015). Este sistema é similar ao utilizado em residências unifamiliares, composto por coletores solares já acoplados a um pequeno reservatório térmico, a partir do qual é realizada a distribuição da água aquecida diretamente à unidade proprietária de cada sistema. A dificuldade encontrada, quando da utilização do mesmo, é que há diferentes distâncias entre o reservatório térmico de cada sistema e o seu apartamento proprietário, dependendo do andar do mesmo. Desta forma, só é possível a instalação de tal sistema em edifícios de poucos andares, caso contrário, a chegada da água nos andares mais baixos seria muito demorada, sendo necessários sistemas de recirculação de água, com os quais o sistema não é compatível. Além disso, tem-se também dúvidas quanto a propriedade do local de instalação do sistema, visto que a responsabilidade pela manutenção do mesmo é particular de cada unidade, mas o local para tanto é uma área comum do edifício. Sendo assim, há o desejo em se buscar outros sistemas que ainda atendam ao requisito de

individualização, porém possam ser instalados em edifícios mais altos e que não possuam questões relacionadas a sua propriedade.

Um estudo propôs então que estes sistemas individuais fossem locados nas varandas de cada apartamento, possibilitando então o seu uso em edifícios altos, visto que as distâncias entre o sistema e seus pontos de consumo estariam limitadas às distâncias internas de cada unidade. Além disso, esta proposição também visa minimizar as questões relacionadas à propriedade, pois, o sistema estaria locado dentro da área privativa. Entretanto, há questões técnicas quanto ao funcionamento dos sistemas, que estariam locados em diversas posições no edifício, a serem discutidas. A principal delas é o fato de que cada sistema receberá níveis de radiação diferentes, tendo em vista a orientação de cada varanda e a incidência maior de sombreamentos nos andares mais baixos, que podem sofrer interferências de árvores e outros mobiliários urbanos. Com esta diferença, mesmo apartamentos semelhantes em área e configuração, possuiriam diferentes benefícios a partir do sistema de aquecimento solar de água, o que pode vir a gerar conflitos entre a construtora/incorporadora e o cliente final (LI, DAI, & WANG, 2015).

Tendo em vista a viabilidade da utilização das fachadas como áreas para a instalação de coletores solares, em edifícios altos, um outro estudo propôs a utilização apenas das áreas mais favoráveis das mesmas, utilizando-se de um sistema totalmente coletivo, inclusive quanto ao aquecimento auxiliar e à distribuição de água quente. Esta proposta resolve de uma maneira diferente a questão da propriedade, pois, torna o sistema totalmente coletivo, ou seja, de propriedade de todos os moradores, como outros equipamentos comuns em edifícios, como elevadores, sistemas de tratamentos de piscinas, entre outros. Porém, apesar de todas as unidades possuírem o mesmo acesso a água já plenamente aquecida, fica em aberto ainda a questão da individualização de outros sistemas, como a energia auxiliar e a água (CHOW T. T., 2006).

Ainda se tratando da utilização das fachadas para a instalação dos coletores, há a necessidade de se envolver diversos outros profissionais, que não apenas o engenheiro de instalações, com o objetivo de viabilizar mais facilmente a utilização dessas áreas que possuem um grande potencial para a coleta da radiação solar. Os arquitetos idealizadores de cada edifício precisam possuir o conhecimento da importância do sistema e de seus benefícios, para que os mesmos consigam incluir, funcionalmente e esteticamente, os coletores nas fachadas, as quais são uma área

de grande impacto no projeto como um todo. Já com o intuito de reduzir os sombreamentos nas fachadas, profissionais responsáveis pelas questões urbanísticas devem ser envolvidos, pois, são os responsáveis por decisões como largura de ruas e calçadas, distanciamentos entre edifícios, alturas máximas para edifícios de uma mesma região, e até orientação dos edifícios, algo que já existe na China. Tendo em mente a necessidade da instalação do sistema de aquecimento solar nos edifícios quando da tomada dessas decisões, será possível, de uma forma muito mais fácil, se ter os seus benefícios em muito mais edifícios residenciais (SHI, et al., 2013).

Já com relação às questões de individualização e propriedade, o trabalho apresenta algumas tipologias diferentes do sistema, as quais apresentam, tanto diferentes localizações dos coletores, como diferentes pontos do sistema para se inserir o aquecimento auxiliar, individual ou coletivo.

Um exemplo deste pensamento mais amplo é o sistema instalado em forma condominial entre vários edifícios. Neste sistema, têm-se os coletores instalados nas coberturas dos edifícios que compõem o condomínio, os quais possuem diferentes orientações, e a água aquecida pelos mesmos é levada para um reservatório térmico central do condomínio. Esta alternativa apresentou um bom resultado no que se refere as questões ambientais, porém encontrou algumas dificuldades técnicas devido à falta de experiência com tal forma de sistema. Foram percebidas diferenças entre o consumo de água quente projetado e o real, principalmente durante os meses de inverno, os quais elevaram o período de retorno do investimento, mas deixando-o ainda inferior ao tempo de vida útil do sistema. Além disso, problemas técnicos relacionados às sobrepressões no sistema e à falha de algumas válvulas, também foram encontrados durante o estudo e que, muito provavelmente, aconteceram devido à utilização de conhecimentos de projetos voltados à um sistema para um único edifício, em um sistema condominial inovador (YOO, 2015).

A China é a região onde é possível encontrar mais estudos relacionados à individualização nos sistemas de aquecimento solar de água. Nesta região, não há apenas a preocupação quanto a divisão dos consumos das utilidades prediais, mas também há uma grande preocupação quanto a propriedade do sistema e do local onde o mesmo é instalado, como a cobertura dos edifícios. Desta forma, é possível encontrar uma tendência crescente em relação aos estudos que têm como objetivo a

individualização dos sistemas de aquecimento solar de água, e a forma como os estudos vem se complementando e aprimorando cada vez mais os sistemas.

4.4.2.5 Comparativo entre as regiões

Ao avaliar as pesquisas científicas realizadas em regiões como os Estados Unidos e a Europa, quanto a questão da individualização na implantação dos sistemas de aquecimento solar, é possível perceber que os mesmos já estão habituados com sistemas de aquecimento centralizados e não individualizados, independente de os mesmos possuírem ou não a energia solar como fonte, portanto, este não é um tópico que esteja em pauta em tais regiões. Principalmente na Europa, há uma grande preocupação em como tirar o máximo proveito possível de tal fonte de energia, durante os meses mais quentes, e conseguir aproveitá-la até nos meses mais frios, dado o clima do local, o qual é significativamente diferente do clima brasileiro, perdendo então um pouco a sua utilidade para o cenário brasileiro.

Por outro lado, no caso da Índia, mesmo havendo estudos muito interessantes produzidos no local, é possível perceber que os sistemas de aquecimento solar de água não são muito difundidos e há a necessidade de políticas públicas para o desenvolvimento da tecnologia.

A China, por sua vez, enfrenta dificuldades com relação à necessidade de individualização dos sistemas prediais de edifícios multifamiliares. Sendo assim, é possível encontrar diversos estudos focados, tanto em edifícios altos, como na individualização dos sistemas. Tais estudos vêm complementando uns aos outros e, cada vez mais, focando em edifícios ainda mais altos, principalmente, devido à urbanização ocorrida no local nos últimos anos. Entretanto, apesar dos diversos avanços alcançados pelos chineses, ainda é possível encontrar algumas lacunas a serem tratadas, de modo a se ter um sistema o mais otimizado possível, em relação a esses termos. Com relação à área restrita de cobertura para a locação de coletores solares em edifícios altos, já há grandes avanços, principalmente, voltados a utilização das fachadas. Porém, quanto a individualização dos sistemas, as opções apresentadas ainda não conseguem cobrir todas as lacunas, ou seja, cada tipo de sistema ainda contempla ao menos um aspecto não desejável.

Sendo assim, observa-se que, para o Brasil, um ponto muito importante a ser estudado é a individualização dos sistemas de forma similar ao que ocorre na China.

4.4.3 Formas de otimização dos sistemas de aquecimento solar de água

Algumas das dificuldades encontradas em edifícios multifamiliares podem ser relacionadas ao maior porte do sistema, a uma menor área disponível para a locação dos coletores solares na cobertura e o maior número de usuários, o que pode gerar uma maior demanda por aquecimento e, em contrapartida, uma menor área para produção de energia. Desta forma, diversos estudos vêm sendo realizados tendo em vista o aumento da produção do sistema, ou seja, o aumento da eficiência de um sistema, para que, seja possível o atendimento de um número maior de habitações, mesmo em pequenas áreas, principalmente em edifícios multifamiliares altos.

Há um artigo científico que apresenta uma grande revisão de toda a evolução dos sistemas de aquecimento solar (SHUKLA, 2013). Tal artigo foi dividido da seguinte maneira:

- a. Tipos de recirculação do sistema: Os sistemas que utilizam o termosifão foram os primeiros a se tornarem comerciais, por volta da década de 60, dada a sua simplicidade e menor custo. Infelizmente, eles requerem posições estratégicas de cada um dos elementos do sistema para o seu funcionamento, inviabilizando a sua instalação em edifícios altos. Desta forma, para sistemas de grande porte, utilizam-se bombas de recirculação.
- b. Coletor plano: Os últimos avanços encontrados são relacionados à produção de uma superfície (aletas coletoras) cada vez mais seletiva, através de tintas e outros materiais que venham a aumentar os ganhos do sistema.
- c. Tubos evacuados: Atualmente, pesquisas relacionadas à coletores de tubos evacuados focam em uma performance térmica ainda melhor e na comprovação da sua produtividade em instalações reais.
- d. Coletores concentradores: Atualmente ainda não é de fácil acesso instalações deste tipo, portanto, esta é uma vertente que está em estudo de uma forma geral, de modo a torná-la comercialmente e tecnicamente acessível.
- e. Fluidos de transferência de calor: Atualmente, há estudos que tratam da utilização de outros fluidos, que não a água, para obter temperaturas mais elevadas em sistemas de aquecimento de água doméstica.
- f. Tubulações e reservatórios: Por fim, o estudo trata também das perdas térmicas que ocorrem, tanto nas tubulações que compõe o sistema até os

pontos de consumo, como no próprio reservatório térmico. Reduzir tais perdas possibilita que uma mesma área coletora passe a atender uma demanda maior. Um outro trabalho, mais específico, estudou as características físicas necessárias para que as superfícies seletivas colaborem para que possam ser alcançadas altas temperaturas nos sistemas de aquecimento solar (MCKENZIE, 1983). Este estudo focou e testou o material escolhido para a superfície de coletores de tubos evacuados, porém, é um avanço que pode ser levado para outros tipos de coletores e inclusive, em uma próxima etapa, ser avaliada a sua viabilidade econômica.

Também já se avaliou técnica e economicamente a instalação de tubos evacuados para o aquecimento de água na cidade de Cascavel/ Paraná – Brasil, localidade essa com baixas médias de temperatura se comparadas à outras localidades no país (NUNES C. F., 2012). Concluiu-se que mesmo os tubos evacuados alcançando temperaturas mais elevadas do que os coletores planos, estudos para elevar ainda mais estas temperaturas se fazem necessários quando se trata de reduzir a área coletora necessária para edifícios altos.

Com relação ao aprimoramento dos fluidos de trabalho do sistema de aquecimento solar, foram realizados dois estudos que avaliam a utilização de nanofluidos (líquido hospedeiro com partículas de dimensão menor que 100 nm, suspensas de forma estável) para aumentar a capacidade de absorção do sistema e, por consequência, aumentar a temperatura do mesmo. O primeiro realizou um experimento indoor para determinar as características dos nano fluidos quando em alta temperatura ou alta pressão. Dependendo do fluido utilizado, o comportamento do sistema foi diferente, inclusive com o aumento da eficiência em um dos casos, no qual a temperatura chegou a mais de 160°C, fenômeno este não explicado (LU, LIU, & XIAO, 2011). Já o segundo estudou o comportamento dos nanofluidos em alta temperatura (85 a 170°C) a longo prazo, de modo a avaliar se não haveriam mudanças do comportamento inicial devido a, por exemplo, incrustações. Com um dos fluidos, foi possível alcançar algo próximo de 100% de absorção da energia solar, tornando-o ideal para a utilização em sistemas de aquecimento solar de absorção direta (HORDY, 2014).

Em um outro estudo, foram instalados painéis refletores abaixo e dos lados de tubos evacuados, de modo a elevar a incidência de radiação neles. Além disso, foram incluídos no sistema uma caixa de condensação e uma bobina de condensação logo na saída de cada tubo evacuado. Ligada à caixa de condensação, há também uma bomba de vácuo. A bobina de condensação é o local por onde a água do reservatório

térmico troca calor com o fluido aquecido nos coletores solares (LU, LIU, & XIAO, 2011).

Já um estudo de 2012 propõe um sistema especificamente para edifícios, com o uso de coletores concentradores para realizar uma geração tripla, ou seja, geração de energia térmica para o aquecimento da água para uso doméstico, geração de energia térmica para o condicionamento de ar, e geração de energia elétrica, todas a partir da energia solar. Este estudo concluiu que esse sistema é vantajoso quanto à área, produz ao menos uma das formas de energia o ano todo e tem custos reduzidos, em relação à uma geração tão ampla, utilizando apenas o coletor concentrador. Os custos de um sistema como esse seriam elevados, porém, foi verificado que com financiamentos públicos específicos ele poderia se tornar lucrativo (CALISE, 2013).

Vislumbrando uma maior viabilidade econômica e uma maior difusão do sistema, foi construído um coletor concentrador de baixo custo, com materiais de bricolagem e custo de aproximadamente R\$170,00, incluindo um sistema de rastreo (sistema que altera o posicionamento dos coletores durante o dia, seguindo a mudança de posição do sol em relação à terra, de forma a se ter uma otimização no recebimento da radiação pelos coletores). Ao final do experimento, o valor máximo de rendimento obtido foi de 19% (HO & ITO, 2011).

Um dos principais elementos dos sistemas de aquecimento solar de água é o reservatório térmico. Ele é o responsável por garantir que a água aquecida durante o dia, pelo sistema, se mantenha aquecida e possa ser utilizada no período noturno, onde não há produção. E é através do reservatório térmico que ocorre a maior parte das perdas térmicas, tanto através da sua dissipação para o ambiente, como também através da mistura entre água quente e a água fria, dentro do próprio reservatório. Devido a tamanha influência no funcionamento e na eficiência do sistema, o reservatório se torna um dos principais elementos do mesmo.

Um estudo visa avaliar a possibilidade de redução do volume do reservatório, mantendo a sua eficiência, porém, reduzindo os custos de implantação do sistema e, com isso, reduzindo o período de retorno dos valores investidos na instalação do sistema. Este estudo concluiu que o aumento do volume de um reservatório não é diretamente proporcional ao aumento da eficiência do sistema e, com isso, para cada sistema há um tamanho ótimo (RODRÍGUEZ-HIDALGO, 2012).

Outro estudo focou-se em otimizar a entrada de água fria no reservatório. Ao final do mesmo, se apresenta, como um dos resultados, a redução da área necessária de

coleta em torno de 12,7% e a redução do volume do reservatório em torno de 10,2% (KULKARNI, KEDARE, & BANDYOPADHYAY, 2009).

Avaliando-se as propostas apresentadas, é possível verificar que todas elas possuem potencial técnico para serem utilizadas em sistemas de aquecimento solar de água de edifícios altos, ajudando a reduzir a área coletora necessária para o atendimento da demanda e, desta forma, viabilizando tecnicamente a instalação do sistema. Além disso, muitas das propostas poderiam ser combinadas, como as superfícies seletivas para coletores concentradores, os quais podem utilizar-se de nanofluidos para uma maior absorção, por exemplo.

4.4.4 Medição individualizada

Nos últimos anos, é crescente o interesse pela redução dos consumos de água, eletricidade e gás nas edificações, tanto por benefícios econômicos, quanto por benefícios ambientais, e o interesse em se ter cobranças mais justas por tais consumos, de cada uma das unidades privativas, em edificações multifamiliares. A individualização, um dos principais interesses dos estudos realizados na China, conforme apresentado anteriormente, pode vir a solucionar estes dois problemas.

A individualização, ou medição individualizada de água, eletricidade e gás, corrige a distorção dos diferentes consumos entre as unidades privativas de um edifício. Esta correção é uma forma de diminuir o desperdício pois, além de promover a consciência de quanto de fato cada unidade está consumindo, também possibilita uma manutenção mais rápida de pequenos vazamentos que poderiam passar despercebidos em uma conta geral de condomínio, por exemplo (CARVALHO W. d., 2010).

Um estudo sobre a implantação de medição individualizada de água em edifícios existentes mostrou, através de entrevistas realizadas com os moradores, que os que afirmaram anteriormente não se importar com o consumo de água antes da implantação da individualização, passariam a ter tal preocupação após a implantação do sistema. Isto significa que a medição individualizada traz como consequência uma mudança nos hábitos de consumo de água dos moradores, a qual proporciona efeitos quase que imediatos na redução dos mesmos (PERES & OLIVEIRA, 2006).

Visando os benefícios trazidos pela medição individualizada, diversas localidades já possuem leis que exigem a instalação da mesma. Exemplos dessas exigências

podem ser encontrados na Alemanha, em Portugal, na Colômbia e no Peru (CARVALHO W. d., 2010). No Brasil, também já se tem a lei número 13.312 de 2016 (BRASIL, 2016), de âmbito nacional, que exige que todas as novas edificações multifamiliares possuam medição individualizada de água, em um prazo de 5 anos.

Para a realização da medição individualizada de água, o elemento principal a ser instalado no sistema é o hidrômetro. Cada concessionária local possui as suas próprias especificações técnicas em relação aos hidrômetros, as quais devem ser atendidas nas instalações. Principalmente para a medição de água quente, além de atender as especificações dos hidrômetros para água fria, os mesmos precisam suportar temperaturas de até 90°C. Também deve-se atentar, durante a realização dos projetos das redes de distribuição de água, que os hidrômetros inserem uma perda de carga extra ao sistema, a qual deve ser considerada nos cálculos de dimensionamento das tubulações (CARVALHO W. d., 2010). Além disso, os hidrômetros devem ser locados em locais de fácil acesso para a leitura e manutenção dos mesmos.

No estudo que se avaliou os impactos da implantação da medição individualizada em edifícios existentes, foi possível chegar a algumas conclusões muito importantes. Não foram encontrados problemas em relação a pressão no sistema, tampouco problemas quanto à simultaneidade na utilização dos aparelhos sanitários. Há algumas questões, relacionadas ao posicionamento dos hidrômetros, que ainda devem ser solucionadas, principalmente tendo em vista a facilitação da sua manutenção. Porém, a principal conclusão que se foi possível chegar é referente às reduções de consumo. Foi possível observar reduções entre 10,5% e 21,2% no consumo de água, se comparado o antes e depois da implantação da medição individualizada de água nos edifícios (PERES & OLIVEIRA, 2006).

Um outro benefício importante da medição individualizada é a promoção da desoneração do condomínio. Em condomínios sem medição individualizada, os seus gastos com água se referem a toda a água que entra no mesmo, por exemplo, e desta forma tem-se uma única grande conta a ser paga igualmente por cada uma das unidades privativas. Quando não ocorre o pagamento desta conta por alguma unidade, todas as demais devem pagar um valor mais alto para que a conta geral possa ser paga e, por exemplo, o abastecimento de água não seja cortado de todo o edifício. Já em condomínios que possuem medição individualizada, os gastos dos mesmos se referem, por exemplo, apenas aos consumos de água das áreas comuns,

os quais são drasticamente menores. Desta forma, na ocorrência do não pagamento da cota condominial por parte de alguma das unidades, o valor acrescido para as demais unidades também será drasticamente menor. Com a medição individualizada, a responsabilidade pelo pagamento do consumo de insumos como água, gás e eletricidade de cada uma das unidades privativas deixa de ser do condomínio e passa a ser da própria unidade e, em caso de não pagamento, apenas a unidade devedora poderá ter o abastecimento de seus insumos cessado por parte da concessionária, e não o condomínio como um todo.

Desta forma, é possível concluir que a medição individualizada de água, fria e quente, é imprescindível nas novas e existentes edificações, sendo a redução do consumo de água algo que não deve ser ignorado nos tempos atuais. Durante as especificações de sistemas de água quente com fontes alternativas de energia, os quais já possuem uma vertente voltada aos benefícios ambientais, os esforços em se possuir a medição individualizada devem ser ainda maiores.

4.5 Possibilidades de adequação dos sistemas de aquecimento solar às questões técnicas dos sistemas de água quente

Tendo em vista conseguir, de forma otimizada, os benefícios econômicos e ambientais do uso da energia solar para o aquecimento de água de uso doméstico, é necessário que tal sistema se adeque plenamente aos sistemas de produção e distribuição de água quente das edificações, às restrições de saúde pública e, principalmente, não permita que prejuízos de outras naturezas sejam introduzidos no sistema devido a sua implantação.

Como já visto nas seções anteriores, as principais questões que devem ser observadas na implantação de um sistema de aquecimento solar de água são:

- Do ponto de vista do governo, maior incentivador do sistema:
 - Promoção da redução do consumo de energia elétrica no horário de pico.
- Do ponto de vista dos usuários:
 - Atendimento à demanda de água quente sem prejuízos aos usuários.
 - Promoção do acesso aos benefícios do sistema, de forma equilibrada, entre todas as unidades privativas de um edifício.
- Do ponto de vista da sociedade como um todo (saúde pública e meio ambiente):

- Impedimento da proliferação da bactéria *Legionella Pneumophila* no sistema.
 - Produção do máximo possível de energia limpa.
 - Promoção do uso racional da água e da energia através da medição individualizada.
 - Redução do consumo da energia auxiliar.
- Do ponto de vista econômico:
- Viabilização econômica do sistema.
 - Redução das perdas térmicas do sistema.
- Do ponto de vista técnico:
- Adequação à disponibilidade de área para os coletores.
 - Adequação à disponibilidade de área em geral da edificação para o sistema.
 - Adequação das pressões na rede de água quente.

Assim sendo, são analisadas algumas variações já estudadas de sistemas de aquecimento solar em edifícios, ressaltando-se o atendimento ou não à estas restrições, e como as mesmas promovem ou não a individualização.

4.5.1 Solar central com auxiliar instantâneo individual

Nesta primeira variação estudada, tem-se um conjunto de coletores solares locados em uma área comum do edifício, a princípio na cobertura, mas também podendo ser na fachada (como será apresentado a frente), realizando uma fração do aquecimento da água na forma de acumulação coletiva. Neste tipo de sistema, a energia solar será responsável por 40% a 70% do total anual de energia utilizada para o aquecimento da água. Para o percentual restante, será utilizado o sistema instantâneo individual, já apresentado, o qual se utiliza de um aquecedor elétrico de passagem (o chuveiro elétrico em geral) para o aquecimento da água direto no ponto de consumo da mesma. Devido ao fato da rede de água quente conduzir apenas a água aquecida pela energia solar, pode ocorrer que em algumas situações a mesma fique com uma temperatura que seja propícia à proliferação da bactéria *Legionella Pneumophila*, a qual pode vir a causar doenças nos usuários. Desta forma, se faz necessária a utilização do sistema em circuito fechado, como visto no final da seção 4.4.1, no qual há apenas a troca de calor entre a rede coletiva e a privada, eliminando também a necessidade de medição individual da água quente, ficando apenas a necessidade da medição da água fria.

Para que o aquecimento instantâneo individual se restrinja apenas à porcentagem não atendida pelo sistema de aquecimento solar, é necessário que o aquecedor de passagem elétrico, ou chuveiro elétrico, seja de um modelo específico para tal uso. Tais modelos já estão disponíveis no mercado e a sua diferença é o ajuste da temperatura de forma digital. Diferente dos modelos comumente usados, que possuem entre três e quatro níveis de temperatura, onde o consumo de energia varia apenas nestes três níveis, os modelos adequados para o uso em conjunto com a energia solar possuem um controle automático de potência, o qual reconhece quando a água já está aquecida por outra fonte de energia, reduzindo ou até o desligando automaticamente. Exemplos desse tipo de chuveiro são o modelo *Duo Shower Flex* da fabricante Lorenzetti S.A. (LORENZETTI S. A. , 2017) e o modelo *Polo Hybrid* da fabricante Hydra-Corona (HYDRA, 2017).

Este sistema possui um custo reduzido, é bastante simples, evita a *Legionella Pneumophila*, pode não ocupar nenhuma área da unidade privativa, não possui problemas com a pressão na rede, reduz as perdas térmicas, principalmente em relação à energia auxiliar, e atende plenamente a demanda.

Porém, o sistema com o aquecimento solar coletivo e o auxiliar instantâneo individual não soluciona completamente a questão do consumo de energia elétrica no horário de pico. Este problema é reduzido proporcionalmente à fração solar, porém não é eliminado por completo.

Outro ponto não atendido por este sistema é a “promoção do acesso aos benefícios do sistema de forma equilibrada entre todas as unidades privativas de um edifício”. Isso se dá, pois, os hábitos de consumo, ou seja, a quantidade e os horários em que a água quente é consumida, por cada uma das unidades privativas, podem ser muito variáveis e, como a energia solar não atenderá 100% da demanda de energia para o aquecimento, pode ser que, devido aos hábitos de uma determinada unidade, a mesma consiga tirar mais proveito do sistema de aquecimento solar do que uma outra unidade que possua hábitos diferentes. Por exemplo, caso o sistema de aquecimento solar atenda apenas 40% da demanda anual de energia para aquecimento e, a maioria das unidades realizem o seu consumo de água quente por volta das 18 horas, uma unidade que realizar o seu consumo por volta das 23 horas poderá encontrar um sistema em que toda a água aquecida pela energia solar (40% do total) já foi consumida por outras unidades e, então, a mesma utilizará mais energia auxiliar que as demais. Sendo assim, pode vir a ocorrer que algumas unidades usufruam de uma

fração maior da energia solar, enquanto outras usufruam de uma fração menor ou até mesmo nenhuma, tornando o sistema injusto.

4.5.2 Solar privado com auxiliar instantâneo privado

Uma segunda variação é um sistema em que todos os seus elementos estão instalados dentro da área da unidade privativa que será atendida. Portanto, os coletores solares são instalados no parapeito da varanda de cada uma das unidades e, logo ao seu lado, fica locado o reservatório térmico na varanda. A energia auxiliar é instalada dentro do próprio reservatório, configurando assim um sistema de acumulação privado, que atenderá à todos os pontos de consumo de água quente de uma mesma unidade privativa.

Um estudo realizado na China avaliou um edifício que possui um sistema deste tipo. Neste estudo, utilizou-se um edifício alto da cidade de Shanghai, no qual foi projetado e instalado um sistema de aquecimento solar nas varandas. As varandas do edifício possuem a devida orientação para o perfeito funcionamento dos coletores solares. Instalou-se um coletor de tubos evacuados, com área útil de 2,82 m², em cada um dos parapeitos em posição vertical (Figura 10). Nas varandas também foram instalados um reservatório térmico de 157 litros, um trocador de calor com área de 0,9 m², uma central de controle e uma bomba de recirculação (Figura 11). A partir do reservatório térmico, se inicia a rede de distribuição de água quente para os pontos de consumo. Desta forma, o sistema completo, desde a sua produção, até os pontos de consumo, se encontra dentro da área privativa da unidade, onde a mesma poderá efetuar por conta própria as devidas manutenções (LI, DAI, & WANG, 2015).

Figura 10 - Disposição dos equipamentos instalados na varanda

Fonte: (LI, DAI, & WANG, 2015)

Figura 11 - Coletor instalado no parapeito das varandas de cada unidade privativa

Fonte: (LI, DAI, & WANG, 2015) Traduzido pelo autor

Em paralelo à avaliação do edifício supracitado, este estudo realizou uma simulação utilizando um *software* de dimensionamento de sistemas de aquecimento solar de água. Para a simulação, foram utilizados quatro diferentes padrões de consumo de água, simulando famílias que ficam menos tempo em casa, por trabalharem, e famílias que permanecem mais tempo em casa, possuindo um consumo de água quente distribuído durante o dia (LI, DAI, & WANG, 2015).

Concluiu-se então que este sistema apresentou uma eficiência de aproximadamente 40%. Também foi possível verificar que a simulação desenvolvida correspondeu com os dados experimentais. E concluiu-se que, principalmente, o padrão de consumo de água que ocorre durante todo o dia possui uma eficiência maior, em relação ao padrão onde há o consumo apenas pelas manhãs e noites (LI, DAI, & WANG, 2015).

Este estudo é bastante interessante por apresentar um sistema diferente, onde há uma individualização robusta, sem problemas com a bactéria *Legionella Pneumophila* ou de pressão na rede.

Porém, algumas questões não foram levantadas durante o estudo. A principal delas se refere às diferentes taxas de radiação que incidem nos coletores de cada uma das varandas, visto que as mesmas estão locadas em diferentes posições, sobre as quais inferem diferentes interferências. Nas varandas mais altas há uma maior incidência de ventos, podendo gerar uma maior perda térmica. Já as varandas dos andares mais baixos podem ficar por mais tempo sombreadas, tanto devido aos edifícios vizinhos, como devido até mesmo às árvores. Além disso, o edifício estudado possui todas as varandas com uma mesma orientação, algo que pode não ser tão comum, pois, há diversos edifícios com varandas de unidades voltadas para as mais diversas orientações, inclusive, para as menos favoráveis à produção dos sistemas de aquecimento solar, inviabilizando a sua instalação.

Apesar do estudo apresentar um dado muito interessante referente ao impacto do padrão de consumo de água na eficiência do sistema, o mesmo deve ser projetado para que a eficiência seja alta, independente do padrão de consumo. Não é aceitável recomendar a mudança nos hábitos dos usuários para que o sistema seja viável. O sistema ideal deve se moldar aos hábitos dos usuários e não o contrário.

Um outro estudo chinês, apesar de não ser o seu foco, apresenta algumas instalações com os coletores locados nas varandas, ressaltando benefícios como, as menores distâncias percorridas pelas tubulações e o incremento arquitetônico que os coletores podem promover nas fachadas dos edifícios. Este estudo não apresenta como o sistema funcionaria de fato, mas incentiva o seu uso e a maior colaboração entre arquitetos e engenheiros para a integração dos sistemas ao edifício, e para a maior difusão da tecnologia (Wang & Zhai, 2010).

Apesar deste estudo não apresentar muitas características técnicas, o mesmo é totalmente voltado para a difusão do uso da energia solar para o aquecimento de água de uso doméstico, e apresenta uma questão fundamental para tanto: a colaboração entre os agentes envolvidos no processo de projeto de uma edificação, a qual poderá contar com tal sistema. Este é o primeiro passo para solucionar as questões técnicas que, por ventura, surgirem e impedirem a instalação dos sistemas de aquecimento solar de água.

4.5.3 Solar coletivo com auxiliar de acumulação coletivo

Em sentido oposto ao último tipo de sistema apresentado, esta variação prevê que o sistema seja completamente coletivo, entregando a água já plenamente aquecida e pronta para o seu consumo para cada unidade privativa. Este tipo de sistema é o mais comumente encontrado nas pesquisas científicas referentes ao uso da energia solar para o aquecimento de água de uso doméstico.

No Manual técnico da Companhia de Gás de São Paulo (Comgás) são apresentadas duas formas básicas deste tipo de sistema. A primeira é com, tanto a parte da energia solar, como a parte da energia auxiliar sendo por acumulação coletiva (Figura 12). Neste tipo de sistema existem ao menos dois reservatórios térmicos, o primeiro voltado para receber a água aquecida dos coletores solares, e o segundo voltado a enviar a água já plenamente aquecida às unidades privativas. O segundo reservatório térmico recebe a água do primeiro e, estando ela em temperatura abaixo do desejado,

envia a mesma para um aquecedor a gás de passagem, o qual a retorna para o reservatório garantindo que estará de fato na temperatura ideal.

Já a segunda é apenas com a parte da energia solar sendo por acumulação coletiva, e a energia auxiliar aparece de forma instantânea coletiva (Figura 13). Desta forma há apenas um reservatório térmico que recebe a água aquecida pelos coletores e a envia para consumo. Porém, se a temperatura ideal da água não tiver sido atingida, quando do envio da mesma para o consumo, a água é aquecida instantaneamente por alguns aquecedores a gás de passagem e, a partir dos mesmos, é enviada às unidades privativas.

Em ambos os tipos, há medidores de água quente na entrada de cada uma das unidades privativas. Portanto, a grande diferença entre os dois tipos é, quando a água aquecida pela energia solar não estiver na temperatura ideal para consumo, em um a água é aquecida por aquecedores a gás de passagem e enviada diretamente para as unidades privativas, e no outro é enviada anteriormente a um reservatório (COMGÁS, 2011).

Figura 12 - Sistema com aquecimento solar e energia auxiliar de acumulação coletivo

Fonte: (COMGÁS, 2011)

Figura 13 - Sistema de aquecimento solar de acumulação coletivo e energia auxiliar instantâneo coletivo

Fonte: (COMGÁS, 2011)

Em um estudo chinês, sobre o projeto integrado de sistemas de aquecimento solar para edifícios altos de apartamentos na China, o sistema totalmente coletivo também é apresentado como uma das possibilidades. Neste sistema, tanto os coletores, como o reservatório térmico ficariam na cobertura, e o aquecimento auxiliar, diferente do apresentado pela Companhia de Gás de São Paulo, pode ser tanto a gás como elétrico, ambos locados dentro do próprio reservatório. Desta forma, a água já plenamente aquecida, independente da fonte, é enviada para o consumo das unidades privativas, passando por um hidrômetro de água quente na entrada de cada uma delas. A maior controvérsia em relação à este sistema, apresentado pelo estudo chinês, é quanto à dificuldade em se locar todos os coletores, necessários para o atendimento da demanda na cobertura do edifício, visto que os mesmos possuem cada vez mais andares, aumentando a demanda para uma mesma área de cobertura (SHI, et al., 2013).

Tendo em vista solucionar o problema da relação entre número de andares e área de cobertura para a locação dos coletores solares, estudos foram realizados visando a viabilidade técnica da locação dos coletores na fachada, porém, mantendo o sistema totalmente coletivo.

Um destes estudos, que também foi realizado na China, propõe a utilização dos dois terços superiores, tanto da fachada sul, como da fachada oeste para a locação dos coletores. Foi concluído por este estudo que a utilização destas duas fachadas seria o modo de se obter a maior incidência de radiação, tanto durante o inverno, como durante o verão (Figura 14). Apesar destes coletores solares estarem locados na fachada da edificação, os mesmos não estão na área privativa de nenhuma das unidades, portanto, são coletivos. Já o sistema de reserva e distribuição da água quente é muito similar à um dos propostos pela Companhia de Gás de São Paulo, onde o aquecimento solar é realizado na forma de acumulação, e o aquecimento auxiliar é na forma instantânea coletiva (CHOW T. T., 2006).

Figura 14 - Sistema com os coletores instalados na fachada de forma coletiva

Fonte: (CHOW T. T., 2006) Traduzido pelo autor

Também se utilizando da fachada para a locação dos coletores solares, dois estudos realizados na Sérvia, em complemento um ao outro, possuem o foco na implantação de um sistema de aquecimento solar em um edifício de residência estudantil existente, durante a sua reforma. Nestes estudos se avaliou diversas variações do sistema, de forma a verificar qual delas possuiria uma maior viabilidade técnica e econômica na

implementação de um novo sistema em uma edificação que já possuía uma rede existente de água quente. O sistema de água quente existente no edifício já era do tipo acumulação coletivo, e este conceito foi mantido durante a reforma. O estudo avaliou algumas possibilidades de locação dos coletores solares, incluindo a cobertura. Devido ao fato do edifício não ser extremamente alto, a área da cobertura era maior do que a área necessária para a coleta, tornando essa possibilidade a mais viável economicamente (GOLIĆ, KOSORIĆ, & FURUNDŽIĆ, 2011). Porém, a viabilidade técnica é crucial em projetos de reformas, e não havia acesso a cobertura do edifício em questão, inviabilizando, tecnicamente, a locação dos coletores na mesma. Concluiu-se que a opção mais otimizada, segundo os critérios estudados, seria a da locação dos coletores nos parapeitos das varandas dos andares mais altos do edifício, com uma inclinação de 45° em relação a horizontal (Figura 15) (FURUNDZIC, KOSORIC, & GOLIC, 2012). Portanto, foi possível instalar o sistema de forma coletiva em uma edificação existente.

Figura 15 - Coletores locados no parapeito das varandas dos andares mais altos com inclinação de 45°

Fonte: (FURUNDZIC, KOSORIC, & GOLIC, 2012)

A locação dos coletores solares na fachada dos edifícios traz, além da possibilidade de se locar mais coletores que na cobertura, um isolamento térmico maior para a fachada. Este benefício se dá pelo fato dos coletores se colocarem como uma barreira ao calor que permearia o edifício através da sua fachada, visto que tal calor é retido pelas placas solares.

Um estudo foi realizado utilizando painéis fotovoltaicos nas fachadas das edificações, tanto para a produção de energia elétrica, como para a produção de água quente e para a redução de carga térmica dentro do ambiente. Concluiu-se que tal solução apresenta um bom isolamento térmico para o ambiente, reduzindo a amplitude térmica

no mesmo, tanto no verão, como no inverno. A carga para refrigeração do espaço foi reduzida em 50% no verão (CHOW, He, & Ji, 2007).

É possível se ter também um sistema de aquecimento distrital, caso o mesmo seja instalado de forma ainda mais coletiva, ou seja, não apenas para um edifício, mas para todo um condomínio.

Este caso também foi estudado em um trabalho realizado na China. O condomínio estudado possui um total de 14 edifícios, sendo que cada um deles possui de 11 a 15 andares. Os coletores solares, neste caso, foram locados na cobertura de cada um dos edifícios, sendo estes os únicos equipamentos do sistema locados nos mesmos. Os edifícios foram divididos em 3 grupos, sendo dois grupos com 5 edifícios e um grupo com 4 edifícios, e cada um dos grupos possui o seu próprio sistema de aquecimento distrital. Ou seja, os coletores locados na cobertura, de quatro ou cinco edifícios, enviam a água aquecida para um único ponto onde haverá a reserva, o aquecimento auxiliar, e então, a distribuição para todas as unidades de todos os edifícios que compõe o dado sistema distrital. O local onde há a reserva e o aquecimento auxiliar não fica em nenhum dos edifícios, mas sim em uma área totalmente comum do condomínio. Este sistema foi observado em uso durante aproximadamente 3 anos (YOO, 2015).

Alguns problemas foram encontrados, por falta de manutenção e pela diferença entre a demanda de água quente projetada e a que de fato foi observada durante a operação, aumentando o período de retorno do investimento no sistema. Outro problema encontrado foi em relação as pressões do sistema, que não haviam sido previstas e causaram alguns transtornos, sendo este um problema mais grave devido à grande dimensão do sistema e às grandes distâncias percorridas pelas tubulações (YOO, 2015).

Em um estudo realizado em um hotel da cidade de São Paulo, as questões das pressões na rede também foram discutidas. Principalmente em edifícios com mais de 20 andares, há o problema da sobrepressão da coluna d'água nas tubulações, gerada pela altura, nos andares mais baixos (COLMENAR-SANTOS, 2014).

Para solucionar tal problema, o estudo apontou inicialmente duas configurações de rede, e em ambas o sistema é totalmente coletivo e locado na cobertura ou próximo ao nível térreo. A primeira, com a entrega da água já plenamente aquecida às unidades privativas, tem-se a cada determinado número de andares uma válvula redutora de pressão. Esta válvula gera uma perda de carga na tubulação, impedindo

que a pressão na mesma ultrapasse os limites que o seu material e os aparelhos sanitários suportam. Tal válvula deve ser inserida na tubulação, quantas vezes necessárias, sempre próximo ao ponto em que a pressão na rede poderia vir a ultrapassar o limite. Na segunda, o sistema principal, que vem dos coletores e reservatórios, seria em circuito fechado, ou seja, a água não seria de fato entregue às unidades, mas sim haveriam trocadores de calor em cada uma das unidades, pelo qual a água da própria unidade seria aquecida. Com esta tipologia, não são necessárias as válvulas redutoras de pressão (COLMENAR-SANTOS, 2014).

Apesar de apresentar inicialmente estas duas opções, o sistema do hotel estudado foi concebido se utilizando de uma terceira possibilidade. Devido as configurações físicas e de uso do hotel, o seu sistema foi dividido em dois e, então, em duas zonas de pressão diferentes. Para tanto, há uma primeira reserva para receber a água aquecida pelos coletores solares e, a partir da mesma, a água segue para o sistema locado na cobertura e para o sistema locado no oitavo andar. Cada um desses sistemas possui a sua própria reserva e, só na mesma, ocorre também o aquecimento auxiliar, de onde parte o abastecimento de cada ponto de consumo diretamente (COLMENAR-SANTOS, 2014).

Na diferença entre circuito aberto ou fechado, discutida no estudo do hotel em São Paulo, se deve também observar os riscos de proliferação da bactéria *Legionella Pneumophila* no sistema, e os meios dos mesmos serem reduzidos, por exemplo, com rotinas de manutenção específicas (COLMENAR-SANTOS, 2014).

Devido ao fato do sistema totalmente coletivo ser muito estudado e muito utilizado, há diversas variações do mesmo, como demonstrado. A energia auxiliar pode ser do tipo instantânea ou também de acumulação, como a energia solar, os coletores podem estar locados na cobertura ou na fachada, e o sistema pode ser em circuito aberto ou em circuito fechado.

Porém, a grande questão é como será realizada a divisão dos gastos com o consumo da fonte auxiliar de energia. Uma das possibilidades seria, através do próprio condomínio, a cobrança proporcional ao consumo da água quente. O risco dessa situação é que pode ser perdido, parcialmente, a conscientização sobre o consumo trazida pela medição individualizada, além de que a indesejada oneração do condomínio permanece, conforme apresentado no item 4.4.4.

4.5.4 Solar coletivo com auxiliar instantâneo privado

Nesta outra variação do sistema, se tem o objetivo de promover a desoneração do condomínio, que é um dos problemas da proposta anterior. Para tanto, o sistema de aquecimento solar permanece o mesmo, inclusive com todas as variações possíveis referente aos locais de instalação dos coletores, circuito aberto ou fechado, entre outros. Já a energia auxiliar deixa de ser coletiva e passa a ser do tipo instantânea privada, com a sua devida medição individualizada, desonerando o condomínio.

Um exemplo dessa variação do sistema é apresentado no manual técnico da Companhia de Gás de São Paulo (Comgás). Neste caso é possível observar os coletores instalados na cobertura do edifício, e um reservatório térmico que recebe a água aquecida pelos mesmos. A partir do reservatório, a água é enviada diretamente às unidades privativas, mas pode não estar na temperatura ideal para o consumo, sendo que na entrada de cada uma delas há um hidrômetro de água quente. Do hidrômetro, a água segue para um aquecedor de passagem a gás, o qual só realizará um novo aquecimento da água se necessário, e então para os pontos de consumo (COMGÁS, 2011).

Especificamente no sistema apresentado pela Comgás, há uma grande probabilidade da proliferação da bactéria *Legionella Pneumophila*, visto que na rede coletiva de água quente circulará apenas a água aquecida pela energia solar, podendo a mesma, em alguns momentos, permanecer nas temperaturas ideais para a proliferação da bactéria.

Para evitar tal problema, este sistema poderia ser em circuito fechado, no qual não haveria o consumo da água, onde o risco da proliferação da bactéria é maior. Outra possibilidade seria a instalação de um sistema de aquecimento auxiliar coletivo apenas para a higienização da rede periodicamente.

Sendo o sistema adaptado para o respeito às questões de saúde pública, o mesmo ainda apresenta questões a serem solucionadas. Apesar de solucionar o problema do consumo de energia elétrica no horário de pico, pois a energia auxiliar neste caso é o gás, este sistema possui uma questão similar a mencionada na seção 4.5.1 no que se refere ao acesso de todas as unidades aos benefícios da utilização da energia solar para o aquecimento da água de uso doméstico.

4.5.5 Solar coletivo com auxiliar de acumulação privado

Tendo em vista a redução do problema referente ao acesso à energia solar, que a variação de sistema anterior possui, esta variação prevê que cada unidade privativa possua a sua própria reserva. Desta forma, pode-se garantir que cada unidade privativa possuirá ao menos um determinado volume de água aquecida pela energia solar, independente de qual fração for a escolhida, e a energia auxiliar também será individualizada, sem correr o risco de se voltar a onerar o condomínio. Com esta variação, os hábitos de consumo de cada unidade privativa influenciarão apenas a eficiência do seu próprio sistema, não sendo possível que o hábito de uma unidade prejudique o desempenho de outra unidade com hábito diferente.

Esta tipologia inclusive já foi apresentada por alguns estudos científicos.

No estudo chinês que apresenta algumas das formas de sistemas utilizados em seu país, o qual uma delas já foi inclusive discutida, duas das opções apresentadas são com a energia auxiliar do tipo acumulação privado. Em ambas as opções, os edifícios possuem de 9 a 12 andares e os seus coletores estão locados na cobertura da edificação. A água aquecida a partir dos mesmos é enviada diretamente às serpentinas, locadas dentro dos reservatórios de cada unidade privativa. O uso da serpentina torna o sistema um circuito fechado e evita os problemas gerados pela proliferação da *Legionella Pneumophila*. O reservatório de cada unidade está locado em sua varanda e já possui uma resistência elétrica, de modo a realizar o aquecimento auxiliar se necessário. Mesmo o aquecimento auxiliar sendo elétrico, não há o problema do consumo de energia elétrica no horário de pico, pois, o seu consumo neste tipo de sistema ocorre anteriormente ao consumo de fato da água quente (SHI, et al., 2013).

No manual técnico da Companhia de Gás de São Paulo (Comgás) também são apresentadas duas formas de se ter este tipo de sistema. A primeira delas é muito similar a apresentada no estudo chinês, porém, ao invés da serpentina se utiliza um trocador de calor de placas e, ao invés da resistência elétrica se utiliza um aquecedor de acumulação a gás. Já na segunda opção, a serpentina volta a ser utilizada e o aquecimento auxiliar é realizado por um aquecedor a gás de passagem, transformando o sistema em um tipo conjugado. Nesta segunda opção, a água do reservatório que não estiver na temperatura ideal para consumo é enviada ao aquecedor de passagem que retorna a mesma já plenamente aquecida para o

reservatório. Em ambas as opções, a água para consumo é enviada a partir do reservatório de cada unidade (COMGÁS, 2011).

Este tipo de sistema vem sendo estudado a alguns anos. Um estudo de 1980 já apresentava as suas vantagens e desvantagens.

No estudo realizado em 1980, o sistema proposto possuía os seus coletores locados em um edifício vizinho a edificação que, de fato, era proprietária do sistema. A água aquecida pelos mesmos era enviada à um reservatório locado no térreo da edificação proprietária, o qual era abastecido por água fria vinda da rede pública. A partir de tal reservatório, a água aquecida apenas pela energia solar era enviada diretamente para os reservatórios de cada unidade privativa, nos quais havia sido instalada uma resistência elétrica como forma de energia auxiliar (Figura 16) (WOLF, 1980).

Figura 16 - Sistema com aquecimento solar de acumulação coletivo e energia auxiliar elétrica do tipo acumulação privado

Fonte: (WOLF, 1980) Traduzido pelo autor

Este estudo concluiu, porém, que ainda há algumas dificuldades técnicas e econômicas a serem solucionadas. A principal dificuldade econômica é devido ao fato dos vários reservatórios inserirem uma maior perda térmica no sistema, pela estratificação da água dentro dos mesmos, do que se comparado à sistemas com um único reservatório. Já uma das dificuldades técnicas se refere à maior área privativa ocupada pelo sistema, situação essa que ocorre em algumas outras variações, mas, que é de grande importância, principalmente em locais onde o metro quadrado é mais custoso, como na cidade de São Paulo. Porém, a principal dificuldade técnica se refere à configuração do momento em que a energia auxiliar deve ser acionada. Caso a energia auxiliar seja acionada a partir de uma temperatura muito baixa, a energia solar

poderá ter uma participação menor no sistema, pois, a água já estará aquecida pela energia auxiliar. Porém, se a energia auxiliar for acionada apenas em uma temperatura muito elevada, e a energia solar não tiver alcançado a temperatura ideal para o consumo, o usuário poderá se deparar com a água em temperatura abaixo do esperado. Devido a estas dificuldades, o estudo não recomenda o uso deste tipo de sistema (WOLF, 1980).

4.5.6 Solar coletivo com acumulação privado e auxiliar instantâneo privado

A variação de sistema apresentada nesta seção tem como objetivo manter o conceito apresentado na seção anterior, porém, reduzindo os problemas quanto a configuração do momento em que a energia auxiliar é acionada. Para tanto, a energia auxiliar deixa de estar dentro do reservatório, ou de forma conjugada ao mesmo, e passa a ser do tipo instantâneo privado. Com esta alteração, o reservatório de cada unidade passa a conter apenas a água aquecida pela energia solar. A água que vai para os pontos de consumo sai deste reservatório e, se não estiver em temperatura adequada, segue para o aquecedor de passagem, mas não retorna ao reservatório já plenamente aquecida, segue diretamente para o consumo. Portanto, o momento do acionamento da energia auxiliar fica plenamente definido, e não interfere na eficiência da energia solar e no devido atendimento da demanda.

O manual técnico da Companhia de Gás de São Paulo também apresenta esta variação do sistema. No mesmo, não há um reservatório na saída dos coletores solares e é utilizada uma serpentina dentro do reservatório de cada unidade para se ter um circuito fechado, evitando problemas com a *Legionella Pneumophila* na rede coletiva (Figura 17) (COMGÁS, 2011).

Figura 17 – Aquecimento solar coletivo com acumulação privado e auxiliar instantâneo a gás privado

Fonte: (COMGÁS, 2011) Adaptado pelo autor

Neste sistema não se tem o consumo de energia elétrica durante o horário de pico, não há variação de incidência de radiação entre as unidades pois, os coletores estão locados na cobertura (também poderiam estar na fachada de forma coletiva), o consumo da energia auxiliar é realizado de forma individual, desonerando o condomínio, todas as unidades possuem ao menos um determinado volume de água aquecida pela energia solar e não há dificuldades no acionamento da energia auxiliar. Porém, o principal problema a ser solucionado é a elevada perda térmica encontrada devido ao fato de se possuir diversos reservatórios (excluindo-se questões de custo do sistema, não tratadas no presente trabalho).

Este problema pode vir a ser minimizado ao se utilizar os conhecimentos adquiridos em estudos científicos voltados à otimização do sistema através da redução das perdas térmicas em reservatórios, conforme apresentado na seção 4.4.3. Tais estudos são focados, em geral, para sistemas totalmente coletivos, portanto, deve ser analisado o quanto das suas conquistas podem ser aplicadas aos reservatórios privados.

4.5.7 Solar coletivo com auxiliar também de fontes alternativas

Em todas as variações apresentadas anteriormente a fonte de energia auxiliar era a energia elétrica ou o gás, ambos vindos da rede pública. Porém, um estudo realizado na Letônia avalia um sistema que possuía como fonte auxiliar a lenha, ou seja, uma nova possibilidade.

Neste estudo, foi avaliado um sistema totalmente coletivo que atendia a demanda de aquecimento de água e de aquecimento de ambientes, muito importante para a região onde o mesmo foi realizado, devido ao seu clima. Este sistema está instalado em um edifício de apartamentos com apenas 4 andares e, para atender tal demanda, foram instalados 42 m² de área de coletores solares planos, um reservatório térmico com volume de 2,35 m³ e um aquecedor a lenha com capacidade de 100 kW. O principal foco de tal estudo era otimizar o aquecedor a lenha para que o mesmo possuísse uma maior eficiência, e isso foi possível através de alguns ajustes no mesmo, os quais não interferiam no sistema de aquecimento solar (ŽANDECKIS, 2013).

Apesar desse sistema não ser usual no Brasil, o mesmo traz consigo um novo conceito com a possibilidade de se utilizar outras fontes de energia auxiliar que não apenas o gás e a eletricidade. E, com esse novo conceito, se abre um leque maior de possibilidades, que vai inclusive além da lenha utilizada no sistema estudado. Neste novo conceito, pode-se vir a utilizar como energia auxiliar outras fontes alternativas de energia como, por exemplo, o biogás gerado através do lixo produzido pelos próprios condomínios.

Mudando-se radicalmente o foco das variações de sistemas de aquecimento solar já apresentadas, com as dificuldades técnicas que as mesmas ainda possuem, a possibilidade de utilizar uma fonte auxiliar alternativa para a energia solar pode vir a eliminar as dificuldades referentes a divisão do pagamento pelo consumo da mesma, as quais são encontradas principalmente nos sistemas totalmente coletivos apresentados no item 4.5.3.

Já existem estudos que avaliam a viabilidade técnica e econômica da geração de biogás, e então de energia elétrica, em aterros sanitários municipais, reduzindo o impacto ambiental dos mesmos, devido à emissão de gás metano, e gerando uma economia para os municípios, dada a utilização da energia gerada para o seu próprio consumo (ABREU, COSTA, & SOUZA). Este estudo é voltado para um sistema

público, porém, avanços podem ser conseguidos na viabilidade de sistemas condominiais privados.

Um exemplo de estudo condominial foi realizado, porém, avaliando a geração de energia a partir de efluentes sanitários domésticos. Este estudo foi realizado em um condomínio residencial de baixa renda do Programa Minha Casa, Minha Vida. Tal condomínio é formado por 6 edifícios de aproximadamente 10 andares. Os seus dejetos são enviados para um tratamento de esgoto do próprio condomínio. Neste tratamento de esgoto é gerado o biogás, o qual será utilizado para a produção de energia elétrica. Nesse caso, foi possível concluir que o sistema é viável, técnica e economicamente, para o atendimento da demanda energética das áreas comuns do condomínio (MENEZES, 2016). Este estudo apresenta uma produção de energia ainda muito baixa para ser utilizada como fonte auxiliar de energia, porém, com alguns avanços isso pode ser tornar viável.

Com os dois estudos apresentados, fica evidente que esta variação do sistema de aquecimento solar de água ainda não está madura o suficiente para ser aplicada de imediato. Porém, esta variação poderia trazer uma solução para as questões dos sistemas de aquecimento solar totalmente coletivos, pois, como a energia auxiliar seria gerada no próprio condomínio, não seria necessário cobrar pela mesma, da mesma forma que ocorre com a energia solar, que também não é cobrada. Além disso, esse tipo de sistema gera um benefício ambiental ainda maior do que a utilização apenas da energia solar, pois, ele utiliza apenas fontes de energia renováveis e não poluentes, e o biogás ainda reduz a poluição gerada pelo lixo ou pelos dejetos sanitários. Portanto, por mais que esta variação do sistema ainda não esteja pronta para uso, incentivos para a melhoria da mesma são muito relevantes.

4.5.8 Sistema de aquecimento totalmente solar

Ainda visando a redução dos problemas com a fonte de energia auxiliar e o aumento dos benefícios ambientais, alguns estudos visam a utilização apenas da energia solar para o aquecimento da água de uso doméstico, ou seja, visam sistemas com 100% de fração solar.

Um fato interessante desses sistemas, é que os mesmos são estudados na região nórdica da Europa, onde as temperaturas, durante a maior parte, do ano são

baixíssimas e os níveis de radiação incidente no plano horizontal são inferiores aos menores níveis encontrados em todo o território brasileiro.

Na Suíça, um estudo voltado a sistemas com 100% de fração solar foi realizado, comparando o seu ciclo de vida útil com a de sistemas que utilizam fontes convencionais de energia. Para que a energia solar atendesse 100% da demanda de energia para o aquecimento de água, além de uma área coletora de 276 m² localizada na cobertura do edifício, foi proposto um reservatório sazonal com volume de 205 m³, que será um grande reservatório de energia térmica (Figura 18). Dentro deste reservatório, são locados 3 *boilers* com serpentinas para a troca de calor com o líquido aquecido pelos coletores solares. Estes *boilers* são locados em diferentes posições dentro do grande reservatório de energia térmica. A partir do *boiler* locado no ponto mais alto do reservatório, é enviada a água quente para os pontos de consumo. Desta forma, a radiação, a energia e a temperatura da água obtidas durante os meses mais quentes do ano, serão armazenadas para utilização durante todo o ano, inclusive durante os longos períodos dos meses mais frios em tal país, quando não há a incidência de radiação suficiente para o aquecimento da água. O edifício atendido por este sistema era um novo edifício de poucos andares localizado na região de Berne. Foi possível concluir, através deste estudo, que o sistema com 100% de fração solar possui vantagens em comparação aos demais sistemas estudados, principalmente no que se refere à redução do consumo de energia primária e na redução da emissão de gases de efeito estufa (SIMONS & FIRTH, 2011). As questões de viabilidade técnica e período de retorno do investimento não são o foco do trabalho suíço, tampouco do presente trabalho, principalmente devido ao fato destas questões variarem de região para região, segundo a necessidade do aquecimento da água e disponibilidade de fontes de energia para tanto em cada local.

Figura 18 - Sistema com 100% de fração solar

Fonte: (SIMONS & FIRTH, 2011) Traduzido pelo autor

4.6 Análise das variações do sistema

As vantagens e desvantagens de todas as variações do sistema de aquecimento solar de água, apresentadas nas seções anteriores, são resumidas na Tabela 3 e na Tabela 4, de forma a permitir uma análise comparativa entre as mesmas. Nestas tabelas são apresentadas as características de cada variação e o seu atendimento aos requisitos apresentados na seção 4.5.

Analisando as tabelas e as seções anteriores, se ressaltam alguns pontos:

- Tanto a variação que prevê o uso de fontes alternativas também para a fonte de energia auxiliar, como a variação que prevê um sistema com 100% de fração solar seriam as ideais pois, são as que mais promovem os benefícios ambientais e, além disso, reduzem drasticamente as dificuldades encontradas nas demais variações. Porém, ambas ainda estão um pouco distantes da realidade, por exemplo, da cidade de São Paulo, uma por necessitar de mais estudos de forma a aumentar a produção de energia por biogás, e a outra por necessitar de mais estudos que viabilizem, inclusive arquitetonicamente, uma área coletora e um reservatório térmico de dimensões maiores às usuais.
- Dentre as demais variações, a que se mostra mais próxima ao atendimento de todos os requisitos é a apresentada no item 4.5.6, com a acumulação da energia solar do tipo privado e a energia auxiliar do tipo instantâneo privado. Isso se deve ao fato de que a sua maior dificuldade, que são as perdas térmicas nos diversos reservatórios, já estar sendo tratada por estudos científicos que

visam formas de reduzi-las, não exatamente de reservatórios privados, mas com conceitos que já poderiam vir a ser utilizados nesta variação do sistema. Desta forma, o sistema do tipo “Solar coletivo com acumulação privado e auxiliar instantâneo privado” é o utilizado nas seções seguintes para a simulação das propostas a serem apresentadas, devido ao atendimento às questões estabelecidas na seção 4.5.

Tabela 3 - Tabela de comparação entre as variações do sistema - Características

Seção	Variações	Características dos sistemas					
		Distribuição após energia auxiliar	Posição da energia auxiliar	Fonte de energia auxiliar	Distribuição do solar	Posição do reservatório do solar	Posição dos coletores
4.7.4.1	Solar central com auxiliar instantâneo individual	NA	Área privada	Elétrica	Coletivo	Área comum	Cobertura ou fachada coletiva
4.7.4.2	Solar privado com auxiliar instantâneo privado	Privado	Área privada	Gás	Privado	Área privada	Fachada privativa
4.7.4.3	Solar coletivo com auxiliar de acumulação coletivo	Coletivo	Área comum	Gás	Coletivo	Área comum	Cobertura ou fachada coletiva
4.7.4.4	Solar coletivo com auxiliar instantâneo privado	Privado	Área privada	Gás	Coletivo	Área comum	Cobertura ou fachada coletiva
4.7.4.5	Solar coletivo com auxiliar de acumulação privado	Privado	Área privada	Elétrica ou gás	Coletivo	Área privada	Cobertura ou fachada coletiva
4.7.4.6	Solar coletivo com acumulação privado e auxiliar instantâneo privado	Privado	Área privada	Gás	Coletivo	Área privada	Cobertura ou fachada coletiva
4.7.4.7	Solar coletivo com auxiliar também de fontes alternativas	Coletivo	Área comum	Biogás	Coletivo	Área comum	Cobertura ou fachada coletiva
4.7.4.8	Sistema de aquecimento 100% solar	NA	NA	Nenhuma	Coletivo	Área comum	Cobertura ou fachada coletiva

Fonte: Autor

Tabela 4 - Tabela de comparação entre as variações do sistema - Requisitos

		Requisitos a serem atendidos											
Seção	Variações	Adequação das pressões na rede de água quente	Adequação à disponibilidade de área em geral da edificação para o sistema	Adequação à disponibilidade de área para os coletores	Redução das perdas térmicas do sistema	Redução do consumo da energia auxiliar	Viabilização econômica do sistema	Promoção do acesso aos benefícios do sistema de forma equilibrada entre todas as unidades privativas de um edifício	Promoção do uso racional da água e da energia através da medição individualizada	Produção do máximo possível de energia limpa	Impedimento da proliferação da bactéria Legionella no sistema	Atendimento à demanda de água quente sem prejuízos aos usuários	Promoção da redução do consumo de energia elétrica no horário de pico
4.7.4.1	Solar central com auxiliar instantâneo individual	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Não atende	Atende	Não atende	Atende	Atende	Não atende
4.7.4.2	Solar privado com auxiliar instantâneo privado	Atende	Atende	Não atende	Atende	Atende	Atende	Não atende	Atende	Não atende	Atende	Atende	Atende
4.7.4.3	Solar coletivo com auxiliar de acumulação coletivo	Não atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Não atende	Não atende	Atende	Atende	Atende
4.7.4.4	Solar coletivo com auxiliar instantâneo privado	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Não atende	Atende	Não atende	Atende	Atende	Atende
4.7.4.5	Solar coletivo com auxiliar de acumulação privado	Atende	Atende	Atende	Não atende	Não atende	Atende	Atende	Atende	Não atende	Atende	Não atende	Atende
4.7.4.6	Solar coletivo com acumulação privado e auxiliar instantâneo privado	Atende	Atende	Atende	Não atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Não atende	Atende	Atende	Atende
4.7.4.7	Solar coletivo com auxiliar também de fontes alternativas	Não atende	Não atende	Atende	Atende	NA	Não atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
4.7.4.8	Sistema de aquecimento 100% solar	Não atende	Não atende	Não atende	Atende	NA	Não atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende

Fonte: Autor

5 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso visa verificar os níveis de individualização e produção de um sistema existente e em uso. Para tanto, utilizou-se um edifício existente localizado na zona leste da cidade de São Paulo, o qual foi concebido segundo a Lei nº 14.459 de 2007 (SÃO PAULO, 2007) e, portanto, possui um sistema de aquecimento solar de água para uso doméstico.

5.1 Caracterização do edifício

O edifício estudado faz parte de um condomínio de torre única, com 26 andares de apartamentos (Figura 19), sendo que há 4 unidades de apartamento (unidades privativas) por andar, totalizando 104 unidades privativas.

Figura 19 - Fachada do edifício estudado

Fonte: Imagem da internet

Cada unidade privativa possui 3 quartos, 3 suítes e um lavabo, totalizando 4 sanitários (Figura 20), o que, pela lei da época em que foi concebido, exigiu que o sistema de aquecimento solar de água já fosse entregue pela construtora, em funcionamento e atendendo ao menos 40% da demanda anual de energia para o aquecimento de água, ou seja, um sistema com 40% de fração solar.

Figura 20 – Planta de um dos apartamentos

Fonte: Imagem da internet

O condomínio possui também um andar de espaços comuns (Figura 21) com piscina, salão de jogos, churrasqueira, *playgroud*, salão de festa, entre outros. Além disso, há pavimentos de garagem.

Figura 21 - Planta da implantação

Fonte: Imagem da internet

A entrega deste condomínio foi realizada em dezembro de 2013, ou seja, o mesmo vem sendo utilizado há aproximadamente 4 anos, tempo suficiente para que possua uma boa taxa de ocupação e para que as suas instalações fossem extensamente utilizadas, testadas, e que possíveis falhas pudessem ser observadas.

5.2 Caracterização do sistema

O sistema de aquecimento solar do edifício estudado possui coletores solares do tipo plano. Os mesmos foram locados em quatro baterias, duas na cobertura do nível mais alto do edifício (Figura 22) e outras duas baterias locadas na cobertura do nível do barrilete (Figura 23). Nas baterias, os coletores são posicionados em duas linhas de 8 coletores, sendo que cada uma das linhas possui uma ligação em paralelo, e os 8 coletores de cada linha são ligados em paralelo por canais. Cada uma das baterias possui então 16 coletores, e com isso o edifício possui no total 64 coletores solares de aproximadamente 2 m² de área coletora cada.

Figura 22 - Conjunto de coletores solares instalados na cobertura geral

(a)

(b)

Fonte: Autor

Figura 23 - Conjunto de coletores solares instalados no nível do barrilete

Fonte: Autor

A água aquecida pelos coletores solares segue então para dois reservatórios térmicos. Tais reservatórios possuem um volume de 2000 litros cada e são locados na posição vertical na área do barrilete (Figura 24).

Figura 24 - Reservatórios térmicos que recebem a água aquecida pelos coletores

Fonte: Autor

Para realizar a recirculação entre os reservatórios e os coletores, há dois circuitos distintos, um entre os coletores de uma das extremidades do edifício e outro entre os da outra extremidade. Nestes circuitos tem-se equipamentos (Figura 25) como: bomba de recirculação, vasos de expansão, trocadores de calor de placas (portanto são

circuitos indiretos), termostatos, válvulas de purga na saída dos coletores e painéis controladores. Desta forma, caso haja um delta de temperatura entre a água que entra e a que sai dos coletores, as bombas de recirculação são acionadas e os circuitos passam a trabalhar de forma com que a água dos reservatórios troque calor com a água aquecida pelos coletores, aumentando o volume de água quente dos reservatórios, a cada ciclo, e reduzindo o volume de água ainda em temperatura inferior no seu interior.

Figura 25 – Equipamentos do circuito de recirculação – (a) bomba de recirculação, (b) vasos de expansão, (c) trocador de calor de placas, (d) válvula de purga, (e) painéis de controle.

Fonte: Autor

A fonte de energia auxiliar neste edifício é o gás natural. A companhia de gás atende o edifício e fornece gás natural, tanto para o auxílio do aquecimento da água, como também para as demais atividades como, por exemplo, a cocção em cada unidade. Da mesma forma que é realizado o aquecimento da água através da energia solar, o aquecimento auxiliar também ocorre de forma coletiva, ficando todos os equipamentos necessários locados no barrilete do edifício. Para o aquecimento da água, que ainda não se encontra na temperatura ideal para o consumo, há 7 aquecedores a gás de passagem, com vazão de 36 litros por minuto e potência de 50,48 Kcal/h (Figura 26).

Esses aquecedores são responsáveis por toda a água quente do edifício, caso o sistema de aquecimento solar não esteja produzindo água quente.

Figura 26 - Aquecedores a gás de passagem

Fonte: Autor

Além dos aquecedores a gás de passagem, o barrilete do edifício também conta com outros 6 reservatórios térmicos, os quais armazenam a água já plenamente aquecida a ser distribuída para os pontos de consumo (Figura 27). Estes reservatórios têm uma capacidade de 2000 litros cada, eles recebem a água aquecida pelos coletores solares e, quando a mesma não se encontra em temperatura ideal para o consumo, é enviada aos aquecedores a gás de passagem, para retornar aos reservatórios já plenamente aquecida. Com isso, é garantido a temperatura ideal nos mesmos, de forma a atender diretamente os pontos de consumo, sem a necessidade de nenhum outro reaquecimento.

Figura 27 - Reservatórios térmicos de água para o consumo

Fonte: Autor

A partir de tais reservatórios, a água quente é distribuída para os pontos de consumo através de 4 colunas de água quente, as quais se posicionam no *shaft* da área de serviços de cada uma das unidades privativas. Desta forma, há uma derivação das colunas em cada andar, de modo a atender todos os pontos de consumo de uma determinada unidade privativa.

A partir da derivação que abastece com água quente cada unidade privativa, a mesma segue para os ambientes os quais possuem aparelhos que a utilizam, sendo cada um dos ambientes separados por registros. E, por fim, após o registro de cada ambiente, os aparelhos que utilizam água quente são alimentados.

Além das colunas de água quente, há também o sistema de retorno, o qual possibilita que a água que perde temperatura para o ambiente, dentro da tubulação, retorne ao barrilete para ser aquecida novamente e, com isso, a água que se encontra na tubulação esteja permanentemente em temperatura ideal para o seu consumo, sem a necessidade de espera pelo usuário. Para tanto, no primeiro pavimento de garagem, ou seja, abaixo de todos os pavimentos de apartamentos e ao final da coluna de água quente, há uma bomba de recirculação para cada coluna (Figura 28), a qual envia a água de volta aos reservatórios térmicos através da tubulação de retorno.

Figura 28 - Bomba de recirculação do sistema de retorno

Fonte: Autor

O edifício conta, atualmente, apenas com medição individualizada de água fria (Figura 29).

Figura 29 - Medição individualizada de água fria

Fonte: Autor

Porém, a forma como o sistema de água quente foi concebido, não só possibilita, como já prevê o espaço para a instalação de hidrômetros, tanto na tubulação de abastecimento de água quente, bem como na tubulação de retorno de cada uma das unidades (Figura 30). Com esta concepção, é possível que venha a ser instalado um

sistema que realize a medição da água quente que entra em cada unidade privativa e o desconto da água que não é de fato consumida e retorna aos reservatórios.

Figura 30 - Espaço para a medição individualizada de água quente e retorno

Fonte: Autor

Especificamente para abastecer os andares mais altos, mais próximos dos reservatórios, há um sistema separado para suprir à pressão reduzida que haveria nos pontos de consumo dos mesmos, caso houvesse apenas um único sistema. Portanto, para atender estes andares, há tubulações específicas que possuem um pressurizador instalado ainda no barrilete (Figura 31), o qual eleva a pressão desta rede e garante a mínima pressão exigida nos seus pontos de consumo, a partir de reservatório específicos para atender tais andares. Além disso, 2 dos aquecedores de passagem são específicos para atender a esses andares. Assim sendo, para os andares mais altos há, tanto colunas de abastecimento específicas, como um sistema de retorno também específico.

Figura 31 - Pressurizador para os andares mais altos

Fonte: Autor

A Tabela 5 apresenta um resumo de todos os equipamentos do sistema.

Tabela 5 - Resumo dos equipamentos do sistema do edifício do estudo de caso

Equipamento	Qtde	Características
Coletores solares	64	2 m ²
Reservatórios térmicos para coletores	2	2000 L
Bomba de recirculação para coletores	2	
Trocador de calor de placas para coletores	2	
Termostato para coletores	4	
Válvulas de purga para coletores	4	
Painéis controladores para coletores	2	
Aquecedor de passagem a gás natural	7	36 L/min 50,48 kcal/h
Reservatórios térmicos para aquecedores	6	2000 L
Bomba de recirculação das colunas de abastecimento	4	
Pressurizador	1	

Fonte: Autor

A Figura 32 apresenta um modelo esquemático do sistema encontrado no edifício estudado.

Figura 32 - Esquemático do sistema de aquecimento solar do edifício estudado

Fonte: Autor

5.3 Caracterização dos usuários estudados

Os habitantes de uma das unidades privativas participaram deste estudo de caso de modo a possibilitar também a análise do seu ponto de vista em relação ao sistema de água quente do edifício.

Para que haja a coleta de sua opinião em relação ao sistema, foi realizado um questionário com os usuários. Este questionário se baseou nos estudos apresentados

na seção 4.3.3 para a formulação de suas perguntas. O mesmo foi então dividido em três grandes seções, sendo a primeira seção com o objetivo de caracterizar os usuários, e então compreender melhor os seus hábitos, os quais são questionados na segunda seção e, por fim, avaliar a sua percepção do sistema questionada na terceira seção do questionário. Com isso, visou-se realizar perguntas objetivas e assertivas aos usuários, de forma a obter respostas de fato relevantes ao tema do presente trabalho. Foram feitas aos usuários, perguntas referentes às características que mais influenciam nos sistemas de aquecimento solar, segundo estudos apresentados anteriormente.

O questionário, bem como as suas respostas, podem ser encontrados na Figura 33, na Figura 34 e na Figura 35, primeira, segunda e terceira página do questionário respectivamente.

Figura 33 – Primeira página de respostas do questionário do estudo de caso

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

<p>CONSTRUINOVA MESTRADO PROFISSIONAL Escola Politécnica da USP</p>	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Questionário referente ao sistema de aquecimento solar - Janeiro de 2018
--	--

Andar da unidade do entrevistado (a): 24º

QUESTIONÁRIO

1. Quantas pessoas moram nesta unidade privativa?

R: 3

2. Qual o gênero dos habitantes?

Masculino Qtde. 2 Feminino Qtde. 1

3. Qual a idade dos habitantes?

A 41 B 41 C 8
 D E F

4. Qual o estado civil dos habitantes?

Casados 2 Solteiros 1

5. Qual o nível de escolaridade dos habitantes? (Quantidade)

Nenhum Fundamental 1 Ensino Médio
 Superior Pós graduado 2 Outros

6. Qual a descendência dos habitantes? Qtde.

Negro Branco x Asiático

7. Qual a profissão dos habitantes?

R:

Profissão	Horários
Gerente TI	7 as 20
do Lar	
Estudante	

8. Quais aparelhos desta unidade privativa utilizam água quente?

Chuveiro x Lavatório x Pia x
 Lavadora de louça Lavadora de roupa x Outros

Figura 34 - Segunda página de respostas do questionário do estudo de caso

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

9. Qual a frequência de uso diário desses aparelhos por cada um dos habitantes durante os dias úteis?
Ex: 8:00 às 8:15 e 21:30 às 21:40

	Habitante	Chuveiro	Lavatório	Pia	Lavadora de louça	Lavadora de roupa	Outros
Horário	1	19 as 19:20	7 as 7:10	8 as 8:30	x	16 as 19	
	2	20 as 20:20		21 as 21:30			
	3	8 as 8:20					

10. Em quais dias da semana são realizadas as tarefas domésticas?

Segunda ☒ Terça ☒ Quarta ☒
Quinta ☒ Sexta ☒ Sábado ☐ Domingo ☐

11. Quais são os períodos em que os habitantes costumam viajar de férias? (dias)

Janeiro ☐ Fevereiro ☐ Março ☐ Abril ☐
Maio ☐ Junho ☐ Julho ☐ Agosto ☐
Setembro ☐ Outubro ☒ Novembro ☐ Dezembro ☐

12. Qual o nível de satisfação como sistema de água quente?

Plenamente satisfeito ☐ Satisfeito ☒ Insatisfeito ☐ Plenamente insatisfeito ☐

13. Qual o conhecimento em relação ao sistema de aquecimento solar de água?

Possuo pleno conhecimento do funcionamento do sistema, inclusive dos seus benefícios e desafios	☐
Tenho conhecimento de sua existência e de que traz algum benefício	x
Tenho conhecimento apenas da sua existência	☐
Não sabia da sua existência até a presente pesquisa	☐

14. Os habitantes levaram em consideração o fato do edifício possuir um sistema de aquecimento solar de água no momento da aquisição do imóvel?

Sim ☐ Não ☒

15. Os habitantes possuem hábitos que visam a redução no consumo de água e energia?

Sim ☒ Não ☐ Quais ☐ ensaboa louça c/ torneira fechada, evita dx
chuveiro aberto eqto se ensaboa / escova
dentes com torneira fechada

16. Os habitantes acreditam que o sistema de água quente que atende à sua unidade privativa é justo em relação às demais unidades?

Figura 35 - Terceira página de respostas do questionário do estudo de caso

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Sim ☒ Não ☐ Por qual razão

17. Os habitantes estão satisfeitos com o nível de controle que os mesmos possuem em relação ao sistema?

Sim ☒ Não ☐ Por qual razão

18. Os habitantes têm conhecimento de alguma dificuldade encontrada no sistema?

Sim ☒ Não ☐ Quais

19. Os habitantes têm conhecimento de alguma dificuldade em outras unidades?

Sim ☒ Não ☐ Quais

20. Os habitantes acreditam que o sistema de aquecimento solar de água os acarreta quais benefícios?

Ambientais Econômicos Ambos ☒

21. Os habitantes acreditam que o sistema de aquecimento solar de água pode valorizar o imóvel?

Sim ☒ Não ☐ Por qual razão

22. Os habitantes acreditam que todos os edifícios deveriam possuir sistemas de aquecimento solar de água?

Sim ☒ Não ☐ Por qual razão

Através das respostas do questionário foi possível realizar algumas análises quanto à utilização do sistema de aquecimento solar.

Quanto à caracterização dos habitantes, foi possível levantar que a família que mora nesta unidade, a qual é composta por um casal de 41 anos e um filho de 7 anos, possui menos membros do que o esperado, baseando-se nas premissas da SABESP (SABESP, 2012) ou nas premissas do guia de parametrização da lei solar de 2007 de São Paulo (ABRAVA et al, 2009). Segundo a norma técnica da SABESP, deve-se considerar duas pessoas por dormitório, totalizando 6 pessoas para uma unidade privativa como a estudada (SABESP, 2012). Já segundo o guia de parametrização da lei solar de 2007 de São Paulo, deve-se considerar duas pessoas para o primeiro dormitório e uma para cada um dos demais dormitórios, totalizando 4 pessoas para o caso estudado (ABRAVA et al, 2009). Além disso, o guia de parametrização considera alguns descontos em relação a ocupação do edifício como um todo, dependendo do seu porte. Portanto, a ocupação real da unidade estudada, que é de 3 pessoas, fica mais próxima ao estipulado pelo guia de parametrização, porém ainda em número menor.

Ainda quanto a caracterização da família, é interessante ressaltar que os pais possuem um alto nível de escolaridade e um bom nível social. Porém, principalmente, o nível de escolaridade mais elevado pode ser um fator positivo em relação às questões de conscientização referentes ao sistema.

Com relação aos hábitos de consumo de água quente, devido ao fato da mãe da família permanecer em casa e do filho ir à escola em apenas um dos períodos do dia, alguns hábitos são diurnos, ficando apenas o pai da família com hábitos matutinos e noturnos. Esse padrão de consumo de água quente é benéfico ao desempenho do sistema de aquecimento solar pois, como já visto em estudos anteriores, com ele há uma menor perda térmica no sistema e uma capacidade maior de atendimento da demanda, gerando assim uma maior eficiência. Portanto, essa família possui um potencial maior para conseguir melhores resultados do sistema do que famílias que possuem hábitos primordialmente noturnos ou matutinos.

Apesar disso, os hábitos relatados no questionário indicam que esta família, mesmo possuindo um número menor de membros do que o esperado e possuindo também hábitos diurnos, consome um grande volume de água quente, devido ao maior período nos quais os aparelhos que utilizam água quente são acionados. Desta forma, em

relação a questão ambiental, o alto consumo de água quente desta família não é o mais adequado.

Na terceira e última parte do questionário, são levantadas as percepções dos habitantes da determinada unidade privativa quanto ao sistema. Foi levantado que os mesmos têm conhecimento da existência do sistema, mas, a sua relação com o mesmo é inexistente. Os habitantes informaram também que adquiriram o imóvel sem levar em consideração a existência ou não de um sistema de aquecimento solar de água no edifício, tampouco os moldes do mesmo e os possíveis benefícios e problemas por ele causados. Além disso, o único controle em relação à qualidade do sistema é a temperatura no ponto de consumo, não existindo qualquer controle quanto à produção do sistema e a redução no consumo de gás para o aquecimento da água, que o mesmo pode proporcionar. Com isso, os benefícios do sistema são pouco palpáveis para os habitantes. Portanto, os habitantes estão satisfeitos com o sistema pois, o mesmo entrega a temperatura ideal no ponto de consumo, e isso é apenas o que os mesmos têm expectativa e conhecimento.

Apesar dos moradores desta unidade estarem satisfeitos com o sistema, os mesmos têm conhecimento de algumas dificuldades encontradas por outras unidades, como por exemplo, a temperatura da água abaixo do esperado ou, até mesmo, totalmente fria em momentos de falta de energia elétrica no edifício. Também foi relatado dificuldades no acionamento das bombas do sistema, e algumas unidades instalaram seus próprios aquecedores em suas áreas de serviços, demonstrando uma dificuldade do sistema em atender plenamente a demanda.

5.4 Descrição dos dados coletados

Para analisar os consumos do edifício e a produção do sistema, foram analisados os dados que os usuários possuem acesso. Ou seja, foram coletados os boletos de condomínio, de alguns meses distintos, da unidade participante do estudo de caso, onde constam dados mensais dos gastos do edifício.

O objetivo da coleta de tais dados é, não apenas avaliar a produção de energia através do sistema solar, mas avaliar como os condôminos possuem acesso a tais informações e como os mesmos podem controlá-las e avaliá-las.

Foram então coletados os boletos de condomínio de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2016, e janeiro, fevereiro, maio e junho de 2017.

Em tais boletos constam as seguintes informações:

- Consumo de água fria individual da própria unidade privativa.
- Consumo de gás individual da própria unidade privativa.
- Consumo de água fria coletivo (consumo das áreas comuns, mais o consumo de água que vai para o sistema de aquecimento e é consumido como água quente).
- Consumo de gás coletivo (consumo das áreas comuns, mais o consumo do gás utilizado como fonte auxiliar no sistema de aquecimento solar de água, exceto a piscina, aquecida por bombas de calor).
- Valores monetários dos consumo e valores monetários proporcionais a serem pagos pela unidade privativa.

Com tais dados é possível avaliar a variação dos gastos com o gás (fonte auxiliar de energia) durante os meses onde o sistema de aquecimento solar de água deve produzir mais ou menos energia, pois, por exemplo, se para um mesmo consumo de água fria coletiva há um consumo inferior de gás coletivo, em meses nos quais é esperada uma maior produção do sistema de aquecimento solar, tal variação pode ser explicada pela menor necessidade de complemento da fonte auxiliar. Com isso, há uma redução nos gastos do condomínio, que devem ser sentidos nos valores a serem pagos pela unidade privativa.

Além disso, a análise dos boletos de condomínio é de extrema relevância em sistemas centrais e totalmente coletivos, como apresenta a seção 4.5.3. Neste tipo de sistema há uma sobrecarga da participação da administração condominial, a qual pode ser mensurada através da análise dos dados coletados. Portanto, as questões discutidas na seção 4.4.4 podem ser avaliadas com base em valores reais, verificando a real importância dos pontos negativos apresentados referentes aos sistemas totalmente coletivos.

5.5 Análise crítica do sistema

Para realizar a análise crítica do sistema, inicialmente foi realizada uma simulação de como deveria ser um sistema de aquecimento solar de água, para um edifício com as características do analisado no estudo de caso, segundo o guia de parametrização (ABRAVA et al, 2009) da lei solar de 2007 de São Paulo (SÃO PAULO, 2007), a qual

foi a motivadora da instalação do sistema em tal edifício e que também foi a exigência que devia ser atendida.

Esta simulação é superficial, como informa o próprio guia de parametrização, e projetos executivos de sistemas de aquecimento solar devem ser realizados por profissionais habilitados para que os mesmos sejam precisos. Porém, tal simulação é plenamente satisfatória para uma comparação, por ordem de grandeza, do dimensionamento dos reservatórios e do número de coletores solares e, portanto, é de grande valia para o presente estudo.

A simulação foi realizada utilizando a própria planilha disponibilizada pelo guia de parametrização (ABRAVA et al, 2009) e seus resultados foram apresentados na Tabela 6.

Nesta planilha já são propostos valores de:

- Consumo por habitante,
- Número de pessoas por unidade privativa dependendo do número de dormitórios da mesma,
- Fator de ocupação em relação ao número de unidades e
- Fator de orientação.

Desta forma, os valores inseridos foram apenas:

- Número de dormitórios por unidade - 3 dormitórios,
- Número de unidades do edifício - 104 unidades,
- Desvio da orientação em relação ao norte - menor que 30°
- Produção média de energia mensal do coletor que possui a maior produção segundo a tabela do INMETRO - 96,24 kWh/mês.m² (INMETRO, 2017a).

A própria planilha já realiza todos os cálculos segundo os critérios da Lei de São Paulo (SÃO PAULO, 2007) e apresenta o consumo diário de água quente a 40 °C, além do número necessário de coletores e da área de cobertura necessária para a sua instalação, tendo em vista um fator solar de 40%, que é o mínimo exigido por lei.

Tabela 6 - Simulação do sistema para o edifício estudado segundo o guia de parametrização da lei solar de 2007 de São Paulo

Fatores de cálculo

Legenda de Referência

Fator de cálculo

Aplicado a cada situação

Parâmetro pré-definido

Resultado intermediário

Consumo diário por habitante (litros a 40°C)

Vazão do chuveiro (l/min)

Tempo do banho (min)

Lavatório (l/usuário)

Cozinha (l/usuário)

Consumo por usuário (litros)

Habitantes por unidade (nº quartos + 1 ≤ 5)

1 quarto por unidade

2 quartos por unidade

3 quartos por unidade

4 quartos ou mais por unidade

Fator de ocupação

Até 9 unidades habitacionais

De 10 a 19 unidades habitacionais

De 20 a 39 unidades habitacionais

40 ou mais unidades habitacionais

Fator de orientação

Desvio do norte geográfico de 0° a 30°

Desvio do norte geográfico de 31° a 60°

Desvio do norte geográfico de 61° a 90°

Cálculo de área de coletores solares em edificações residenciais

Consumo por habitante (litros a 40°C)

Usuários por unidade habitacional

Litros por usuário (litros)

Consumo diário por unidade habitacional

Unidades habitacionais atendidas pelo sistema

Fator de Ocupação

Consumo diário de água (litros)

Temperatura de uso (°C)

Temperatura da água fria (°C)

Energia útil consumida (kWh/dia)

Perdas térmicas (% para estocagem a 45° conf. NB 15569)

Energia total consumida (kWh/dia)

Produção média de energia necessária

Fator de orientação (conforme Dec. Regulamentação 49148)

Fator de correção de SP para o coletor (conf. lei SP 14.459)

Produção média diária de energia necessária (kWh/dia Nominal)

Produção média mensal de energia necessária (kWh/mês)

Fração Solar desejada (%)

Produção média de energia (kWh/mês nominal)

Área de captação

Produção média de energia mensal do coletor (kWh/mês/m²) conf. Tabela do INMETRO

Área do coletor (m²) conf. Tabela do INMETRO

Número mínimo de coletores (para atendimento à fração solar de 40% exigida na Lei)

Número ideal de coletores (para atendimento à fração solar ideal de 70%)

Área mínima de coletores (para atendimento a fração solar desejada) (m²)

Área ideal de coletores necessária (m²)

Fator de aproveitamento do espaço (no caso de coberturas)

Área mínima de cobertura plana a ser disponibilizada para a instalação (m²)

Área ideal de cobertura plana a ser disponibilizada para a instalação (m²)

Notas

1.

Este modelo de cálculo foi desenvolvido com vistas à parametrização para atendimento à lei 14.459 do Município de São Paulo.

2.

A metodologia adotada sugere parâmetros genéricos de cálculo, sendo que situações específicas deverão ser avaliadas por profissional habilitado.

3.

Dimensionamento e detalhamento definitivos devem ser definidos em projeto específico.

Fonte: (ABRAVA et al, 2009)

5.5.1 Coletores solares

Estão instalados atualmente no edifício 64 coletores solares de 2 m² cada para o atendimento de ao menos 40% da sua demanda anual de energia para o aquecimento da água. Porém, pela simulação realizada, este número deveria ser de 72 coletores. Apesar da simulação não ser comparável à um projeto executivo, há uma diferença de mais de 10%, ou seja, uma diferença significativa quando se trata da produção de energia.

Além disso, durante a visita ao edifício foi possível observar que uma das baterias de coletores, portanto um quarto de toda a área coletora do edifício, encontra-se voltada para uma parede de aproximadamente 3 metros de altura (Figura 36), a qual produz um sombreamento nos coletores durante a maior parte dos dias do ano. O sombreamento nos coletores reduz drasticamente a produção dos mesmos e, devido a este fato, eles devem ser compensados, adicionando-se área coletora para satisfazer a demanda por energia.

Figura 36 - Coletores sombreados por parede

Fonte: Autor

No caso estudado tem-se então, tanto uma área coletora inferior ao esperado, quanto um quarto da mesma sombreada. Sendo assim, a sua produção terá grandes dificuldades para atender o fator solar exigido de 40%.

Outro ponto a ser questionado no sistema do edifício estudado é a forma de ligação entre os coletores solares. Em cada uma das baterias há atualmente 8 coletores

ligados em paralelo por canais, porém, o número ideal para tal ligação é de 4 coletores (RODRIGUES & MATAJS, 2010), visando-se um melhor balanço hidráulico e, por consequência, uma maior eficiência na produção de energia. Portanto, a forma de ligação atual dos coletores influencia negativamente o sistema.

A manutenção também é um fator de influência na produção de energia pelos coletores, principalmente no que diz respeito a sua produção ao longo de toda a sua vida útil. Um procedimento simples de manutenção, e que mais influencia a produção, é a sua limpeza. Com o acúmulo de partículas de poeira sobre o vidro dos coletores planos, é criado também um sombreamento nos mesmos, impedindo que haja a devida absorção de radiação. Com tal sombreamento gerado pela falta de limpeza, a produção de energia cai significativamente ao longo da vida útil dos coletores solares. Para que a devida manutenção ocorra, é necessário que sejam previstos os acessos necessários aos coletores, de forma fácil e segura, aos responsáveis pela mesma. No edifício estudado, as duas baterias locadas no nível do barrilete possuem tais acessos, porém, o acesso às baterias locadas na cobertura geral são não apenas difíceis, como inseguros aos profissionais de manutenção.

Como é possível ver na Figura 37, não há qualquer forma de acesso à face de vidro dos coletores de uma das baterias locadas na cobertura geral.

Figura 37 - Coletores locados na cobertura sem acesso para manutenção

Fonte: Autor

Além disso, toda a cobertura geral possui muretas com apenas 20cm de altura (Figura 38). Esta característica impede que a mesma contenha equipamentos que requeiram manutenção, ou seja, para que possam ser executados trabalhos de manutenção em equipamentos é necessário que a área possua guarda-corpo de ao menos 1,10m de altura. Isso se deve ao fato de que a mureta com apenas 20cm de altura não oferece segurança apropriada para a realização de trabalhos, visto que há o risco de queda de uma altura de quase 30 andares.

Figura 38 - Cobertura geral do edifício

Fonte: Autor

5.5.2 Reservatórios térmicos

Os reservatórios térmicos devem possuir volume suficiente para armazenar o consumo diário de água quente do edifício. Durante a simulação realizada, o consumo de água quente a 40 °C encontrado foi de 27664 litros por dia. Atualmente no edifício estudado, são utilizados 8 reservatórios, os quais possuem uma capacidade de 2000 litros cada, totalizando um volume de 16000 litros. Não é necessário que o armazenamento de água quente ocorra na mesma temperatura de consumo, e sendo a temperatura de armazenamento maior do que a de consumo, é possível armazenar um volume menor de água quente pois, a mesma será consumida somente após a adição de água fria, aumentando então o seu volume. Portanto, sendo a água quente reservada a 60° C no edifício estudado, os reservatórios existentes são plenamente capazes de armazenar o volume diário consumido.

Os reservatórios do edifício estudado são divididos em dois grupos, um que recebe a água aquecida pelos coletores solares e outro que contém a água plenamente aquecida a ser distribuída para os pontos de consumo. No grupo que contém os reservatórios que recebem a água aquecida pelos coletores, há dois reservatórios de 2000 litros, totalizando 4000 litros. Já no grupo que envia a água para os pontos de consumo, há 6 reservatórios de 2000 litros, totalizando 12000 litros. Portanto, o volume do grupo de reservatórios que armazena a água aquecida através da energia solar é de apenas 25% do total, valor este muito inferior à fração solar exigida de 40%. Esta diferença é questionável quando se trata da eficiência do sistema, pois, para que o mesmo alcance uma média anual de 40% do total da energia para o aquecimento da água, é necessário que, em alguns momentos, esse fator solar chegue até mesmo em 100%, de modo a compensar momentos em que não haja nenhuma produção de energia através do sistema de aquecimento solar. Ao se ter uma reserva ainda inferior ao fator solar, a eficiência se torna ainda mais questionável.

5.5.3 Aquecimento auxiliar

O sistema de aquecimento auxiliar do edifício estudado é composto por 7 aquecedores a gás de passagem de 36 litros por minuto e potência de 50,48 kcal/h. Tais aquecedores são capazes de aquecer juntos 15120 litros por hora, trabalhando ininterruptamente. Este volume aquecido por hora representa 55% do consumo diário total de água quente do edifício, e é suficiente para atender a demanda de pico, que usualmente é de 43% em 1,5 horas. Portanto, o sistema de aquecimento auxiliar existente não possui questões que gerem dúvidas quanto a sua capacidade de atendimento à demanda de água quente do edifício estudado.

5.5.4 Distribuição

O sistema de distribuição de água quente instalado segue uma das tipologias apresentadas na seção 4.5, pois, é um sistema totalmente coletivo, no qual a água é distribuída para as unidades privativas já plenamente aquecida. Outra especificidade é que na distribuição há apenas uma entrada de água quente para cada unidade privativa, o que possibilita a medição individualizada da água quente de cada unidade.

Porém, como estudado na seção 4.5.3, nesta tipologia de sistema ainda há a lacuna quanto a medição individualizada do gás utilizado como fonte de energia auxiliar.

Um ponto que apresenta uma deficiência a mais no sistema é que, apesar do mesmo possuir o espaço adequado para a medição individualizada, ela não foi instalada. Portanto, se inclui no sistema uma certa forma de injustiça, pois, a divisão dos gastos entre os condôminos é em partes iguais e não considera a variação dos tamanhos das famílias e seus hábitos de consumo.

A unidade privativa participante do presente estudo de caso é um bom exemplo das dificuldades geradas com a falta de medição individualizada. Os habitantes da mesma são em número inferior ao esperado para um apartamento com 3 dormitórios e, com isso, há grandes chances de os mesmos consumirem um volume diário menor do que unidades que contenham o número de habitantes esperado ou mais. Sendo assim, a unidade participante do estudo de caso acaba por pagar mais pela água quente, do que de fato consumiu.

Além dos pontos supracitados, a falta de medição individualizada reduz a conscientização dos habitantes das unidades privativas quanto ao consumo consciente de água e gás. Como a economia em tais recursos naturais não é diretamente proporcional a economia monetária, não há um dos grandes estímulos ao consumo consciente. Até mesmo unidades que possuem uma conscientização maior quanto aos benefícios ambientais da redução do consumo de água e gás, não possuem o devido controle em relação ao resultado de suas ações, e com isso se desestimulam as mesmas.

Outro ponto questionável quanto à distribuição de água quente do edifício estudado, que não em relação às medições individualizadas, é a falta de isolamento térmico adequado em alguns pontos, como por exemplo na bomba de pressurização para os andares mais altos. O isolamento térmico é de extrema importância para reduzir as perdas térmicas no sistema, as quais são uma das principais responsáveis pela queda da eficiência no sistema como um todo. Com essas falhas no isolamento, o sistema acaba por utilizar mais recursos naturais do que o necessário para entregar a água na temperatura ideal nos pontos de consumo, reduzindo os benefícios ambientais do sistema de aquecimento solar.

5.5.5 Recirculação

O sistema de recirculação do edifício segue padrões convencionais de instalação. Porém, alguns dos problemas relatados pelos usuários do sistema dão a entender que o mesmo não foi ajustado adequadamente.

A água em temperatura mais baixa do que o ideal, ou até mesmo fria, pode vir a ser resultado de uma temperatura errada de comando para o acionamento da bomba de recirculação. Caso a bomba de recirculação esteja programada para acionar apenas em uma temperatura muito abaixo do ideal para o consumo da água quente, a água fica por mais tempo perdendo calor na tubulação e, com isso, pode vir a chegar no ponto de consumo em temperatura não adequada para o mesmo. Quando a bomba de recirculação está perfeitamente ajustada, assim que há uma pequena queda na temperatura da água dentro da tubulação, a mesma já é acionada e a envia de volta ao aquecimento, mantendo sempre a temperatura ideal junto aos pontos de consumo. Isso ocorre com maior frequência nos pavimentos mais baixos, ou seja, mais distantes da geração de calor na água. Por este motivo, o referido problema não é relatado na unidade estudada, a qual está localizada em um dos andares mais altos.

Outro ponto levantado pelos usuários é, por vezes, a paralisação do sistema quando da falta de energia elétrica. Isso também pode estar relacionado às bombas de recirculação, as quais podem não estar ligadas ao gerador do edifício, impossibilitando a renovação do calor da água em trechos de tubulações nos quais houve a perda de temperatura para o ambiente, quando há falta de energia elétrica.

5.6 Análise crítica dos dados coletados

A Tabela 7 apresenta o resumo dos dados coletados a partir dos boletos de condomínio recebidos pela unidade privativa participante do estudo de caso nos meses de setembro de 2016 a fevereiro de 2017, e maio e junho de 2017.

A primeira coluna representa a cota condominial pela qual cada unidade privativa é responsável. Esta cota é definida em assembleias de condomínio e, pode ou não ser reajustada anualmente, pois, no caso de uma votação, a maioria dos condôminos pode decidir por um reajuste ou não.

O consumo de água individual é referente à leitura realizada no hidrômetro de água fria de cada unidade privativa, o qual faz parte exclusivamente do sistema de água fria do edifício, conforme analisado na seção 5.2. O consumo individual de gás é referente apenas ao consumo para cocção de cada unidade privativa, e que, para tanto, cada unidade possui seu próprio medidor de gás.

Já a coluna referente ao consumo de água coletivo é referente ao consumo de água fria das áreas comuns e referente ao consumo de água que será aquecida pelo sistema de aquecimento solar coletivo, e será consumido, tanto por todas as unidades, como também pelas áreas comuns. Da mesma forma é o consumo de gás coletivo, o qual é referente ao consumo das áreas comuns do edifício e ao consumo como fonte auxiliar de energia do sistema de aquecimento de água.

A coluna seguinte é referente aos pagamentos totais do condomínio, ou seja, gastos com funcionários, com manutenções das áreas comuns e demais gastos que serão divididos de forma igualitária entre todas as unidades.

A relação água e gás, tanto em m^3 como em valores monetários, é a divisão do consumo coletivo de gás pelo consumo coletivo de água, de forma a obter o quanto se gasta de gás ao se consumir um determinado volume de água. Já as porcentagens de água, gás e ambos, são as relações entre os gastos com tais recursos e o total de pagamentos do condomínio, ou seja, a parcela do pagamento total que é referente ao pagamento pelo consumo, tanto da água, como do gás.

Tabela 7 - Dados coletados dos condomínios de uma unidade privativa

Mês	Cota condominial		Consumo de água individual		Consumo de gás individual		Consumo de água coletivo		Consumo de gás coletivo		Total pagamentos condomínio	Valor unitário água	Valor unitário gás	Relação água/gás	Relação água/gás	Parcela água	Parcela gás	Parcela ambos
	R\$	m3	R\$	m3	R\$	m3	R\$	m3	R\$	m3	R\$	R\$	R\$	R\$	m³	% total	% total	% total
set/16	619,43		100,60				45,01	1913	10741,50	4203	82932,51	5,62	3,47	1,36	2,20	0,13	0,18	0,31
out/16	619,43		73,02				56,68	1911	10726,80	3544	87645,48	5,61	3,50	1,16	1,85	0,12	0,14	0,26
nov/16	619,43		156,74				28,78											0,00
dez/16	619,43		95,44				43,91	1885	10544,10	4022	107388,06	5,59	3,26	1,24	2,13	0,10	0,12	0,22
jan/17	619,43	17	95,44	17	36,23	1973	11161,50	2333	7692,39		101402,83	5,66	3,30	0,69	1,18	0,11	0,08	0,19
fev/17	619,43		39,46		parou de usar		parou de usar		10978,80		90966,71			0,77		0,12	0,09	0,21
mar/17	701,67	15	85,59	15	parou de usar		parou de usar											0,00
jun/17	701,67	16	88,91	16	parou de usar		parou de usar	1720	9389,10	1947	68602,48	5,46	3,37	0,70	1,13	0,14	0,10	0,23

Ao se analisar os dados referentes ao consumo individual de água fria da unidade privativa, mesmo não havendo os valores em metros cúbicos de diversos meses, mas através da análise dos valores monetários pagos, é possível verificar que existem variações da mesma no decorrer dos meses. Pequenas variações não representam mudanças de hábitos de consumo de fato, mas a natural inconstância do consumo de água, a qual já seria esperada. Porém, há variações maiores que podem representar, ou o aumento do número de habitantes da unidade, quando a mesma recebe visitas por um maior período por exemplo, ou períodos de férias da família, que devido à ausência dos habitantes, há uma redução do consumo. Um aumento expressivo do valor monetário pago pelo consumo de água pode ser visto no mês de novembro de 2016, e uma redução expressiva do mesmo pode ser observada no mês de fevereiro de 2017.

Um ponto de atenção referente ao consumo individual de água fria é que em dois meses seguidos, dezembro de 2016 e janeiro de 2017, houveram cobranças monetárias idênticas. Esse fato chama a atenção devido a esperada variação natural do consumo mês a mês. Porém, analisando a cobrança de fevereiro de 2017, há na mesma a indicação de “DESCON. JAN”, o que indica que houve no mês de janeiro alguma falha na medição, a qual estaria sendo ajustada no mês de fevereiro, descaracterizando também a medição de fevereiro. Portanto, de fato a cobrança idêntica em meses seguidos é extremamente rara, e em geral indica alguma falha na medição, falha essa ocorrida na cobrança do mês de janeiro, mas que dificulta a análise dos dados do referido mês como também do mês seguinte, onde há a recompensa por ela.

Também ao se analisar o consumo individual de gás, é possível verificar variações mês a mês. Porém, no início de 2017 a unidade estudada alterou o seu tipo de fogão utilizado, ou seja, a unidade deixou de utilizar o fogão a gás para cocção e passou a utilizar um fogão elétrico. Desta forma, a partir de fevereiro de 2017, a referida unidade privativa deixou de realizar o consumo de gás para cocção de forma individual e, com isso, não há mais medições.

Mais uma vez, no mês de janeiro, há um ponto que chama atenção nas medições, pois, o consumo individual em metros cúbicos tanto de água como de gás é exatamente o mesmo. Este valor possivelmente está errado, sendo um erro de digitação, ou algo do tipo, e foi o motivador da falha já discutida em relação ao consumo individual de água fria.

O consumo de água coletivo, o qual se refere tanto ao abastecimento das áreas comuns, como portaria e salão de festas, como ao abastecimento do sistema de aquecimento de água, também apresenta certas variações no decorrer dos meses. O mês que apresenta o maior consumo é o mês de janeiro de 2017, que representa o consumo realizado em dezembro de 2016, ou seja, mês de festas e início de férias e do verão. Principalmente por ser um mês quente, seria esperado que houvesse uma redução no consumo de água coletivo por se reduzir as necessidades de água quente, porém, isso não é o apresentado pelos dados, mesmo a diferença não sendo muito expressiva. Tal ocorrência pode ser devida também à maior utilização das áreas comuns do edifício. Já o mês de menor consumo é justamente um dos meses mais frios do ano, junho de 2017 referente ao consumo de maio de 2017, e a diferença para os demais meses é mais expressiva, passando de 8% abaixo da média, visto que a diferença dos demais meses não passa de 5%.

Uma provável explicação para essas variações pode ser a mudança de hábitos de consumo dos habitantes entre inverno e verão. Por exemplo, a duração dos banhos no inverno pode ser menor do que no verão, então mesmo se requerendo de água mais quente no inverno, o seu volume não ultrapassa o valor demandado por banhos mais longos e um pouco mais frios no verão.

Já as variações que ocorrem no consumo de gás coletivo não são proporcionais às observadas no consumo de água coletivo. O mês de maior consumo de gás foi setembro de 2016, onde também é observado o maior valor da relação água/gás, ou seja, neste mês ocorreu um maior consumo de m³ de gás para cada m³ de água. Por sua vez, o menor volume consumido de gás coletivo acompanhou o consumo de água e foi observado em junho de 2017. Em junho de 2017 também ocorreu a menor relação água/gás. E em janeiro de 2017, onde houve o maior consumo de água, houve também o segundo menor consumo de gás e a segunda menor relação água/gás, muito provavelmente devido à maior participação da energia solar no sistema de aquecimento.

Os valores unitários de água e gás não possuem grandes variações no decorrer dos meses, portanto, não geram, e tampouco influenciam, maiores análises.

Já na relação entre os gastos com o consumo de água e gás coletivos e os gastos totais do condomínio, os valores são bastante expressivos. Eles variam de 20 a 30% da conta total do condomínio, ou seja, caso houvessem medições individualizadas dos mesmos, a conta geral do condomínio poderia vir a ser quase 1/3 mais barata.

Essa redução poderia vir a ser repassada à cota condominial, que não reflete as variações mês a mês e, inclusive, passou a ter um valor maior em meados de 2017, onde se apresentaram reduções tanto do consumo de água como do consumo de gás coletivos.

Pode-se concluir então, através da análise dos dados coletados nos boletos de condomínio da unidade estudada, que é possível visualizar as variações de consumo dos recursos mês a mês, porém, não fica clara a participação do uso da energia solar para tais variações. Ou seja, com os dados que cada unidade privativa recebe atualmente, há uma boa descrição dos consumos do condomínio, porém, além de falhas percebidas nas medições individualizadas, não há nenhuma menção ao sistema de aquecimento solar, impossibilitando o controle do mesmo pelos condôminos.

Aliando este fato à não variação mensal da cota condominial, como é de praxe, tanto os benefícios econômicos, como os ambientais do uso da energia solar ficam obscuros. E não tendo conhecimento de tais benefícios, os habitantes do edifício não são estimulados a pouparem ainda mais os recursos naturais, o que é um dos maiores benefícios da medição individualizada.

Outro benefício da medição individualizada, que não ocorre no edifício estudado, é a desoneração do condomínio. Como se pode observar, o valor dos pagamentos do condomínio a serem divididos igualmente entre todas as unidades privativas é bastante elevado, fazendo com que também a cota condominial seja elevada. Desta forma, em caso de alguma unidade não realizar o pagamento de sua cota, o condomínio pode ficar rapidamente endividado. Esta situação poderia ser minimizada com a medição individualizada pois, em caso de não pagamento, os consumos de água e gás seriam apenas individuais, e então os pagamentos totais do condomínio seriam menores, reduzindo também a cota condominial e por fim, reduzindo o impacto do não pagamento por parte de alguma unidade.

5.7 Análise do atendimento aos requisitos

O edifício analisado no estudo de caso foi concebido com um sistema de aquecimento solar de água, de forma a atender os requisitos da Lei Solar de 2007 de São Paulo (SÃO PAULO, 2007). Este sistema é do tipo com a energia solar e a energia auxiliar

coletivos, de modo similar aos sistemas descritos na seção 4.5.3, porém, sem medição individualizada de água quente.

Após a Caracterização do edifício, a Caracterização do sistema, a Caracterização dos usuários estudados, a

Descrição dos dados coletados, a Análise crítica do sistema e a Análise crítica dos dados coletados, é possível avaliar como o sistema do edifício estudado atende ou não aos requisitos estabelecidos na seção 4.5.

- Promoção da redução do consumo de energia elétrica no horário de pico.

O primeiro requisito é a promoção da redução do consumo de energia elétrica no horário de pico, pois, o mesmo é prejudicial para todo o sistema elétrico nacional e é o grande motivador dos incentivos do governo aos sistemas de aquecimento solar. O sistema do edifício estudado atende plenamente a este requisito pois, não utiliza em nenhum momento a energia elétrica no aquecimento da água, reduzindo drasticamente o seu uso no horário de pico em comparação ao uso de chuveiros elétricos.

- Atendimento à demanda de água quente sem prejuízos aos usuários.

A demanda de água quente dos usuários do edifício poderia vir a ser plenamente atendida pelo sistema, pois o mesmo possui capacidade para tanto. Porém, foram relatados problemas, que possivelmente estão relacionados à uma configuração incorreta das bombas de recirculação, mas que fizeram com que algumas unidades relatassem a entrega da água quente abaixo da sua temperatura ideal para uso, conforme descrito nas respostas do questionário realizado com usuários.

- Impedimento da proliferação da bactéria *Legionella Pneumophila* no sistema.

O sistema também possui capacidade para impedir a proliferação da bactéria *Legionella Pneumophila*, porém, devido aos relatos de água em temperatura inferior ao ideal para consumo, é possível que haja pontos onde a bactéria esteja se proliferando.

- Produção do máximo possível de energia limpa.

O sistema também não está produzindo o máximo possível de energia limpa, principalmente devido as diferenças encontradas entre o dimensionamento do mesmo e o solicitado por lei. O principal exemplo disso é o reduzido número de coletores solares e seus problemas de localização e interligação.

- Promoção do uso racional da água e da energia através da medição individualizada.

Devido ao fato de não existir a medição individualizada de água quente, apesar do projeto prever espaço para tanto, tampouco do gás como fonte de energia auxiliar do sistema de aquecimento de água, não há a promoção do uso racional da água quente neste edifício.

- Promoção do acesso aos benefícios do sistema de forma equilibrada entre todas as unidades privativas de um edifício.

Sendo o sistema totalmente coletivo, com a água sendo distribuída já plenamente aquecida às unidades privativas, todas conseguem obter o mesmo acesso aos benefícios do uso da energia solar, apesar de não possuírem nenhum controle sobre os mesmos e, muitas vezes, se quer terem conhecimento de que eles existem ou podem existir.

- Viabilização econômica do sistema.

O sistema foi economicamente viável pois, visou atender apenas os mínimos requisitos da lei (SÃO PAULO, 2007), e diluiu o seu valor na venda das unidades. Porém, estes requisitos mínimos não foram de fato atendidos como discutido na seção 5.5, e não está comprovada a produção, por parte do sistema, de 40% da demanda anual de energia para o aquecimento de água para uso doméstico. Portanto, os usuários acabaram por pagar pelo sistema de forma embutida no valor de suas próprias unidades, facilitando ainda mais a viabilidade econômica do mesmo, porém não garantiram os benefícios econômicos que o sistema deveria lhes proporcionar.

- Redução do consumo da energia auxiliar.

Também, dadas as dificuldades já discutidas do sistema, não é promovida a redução do consumo da energia auxiliar, tampouco a redução das perdas térmicas do sistema, apesar desta última ainda ser, provavelmente, inferior à de outras tipologias de sistema.

- Adequação à disponibilidade de área para os coletores.

A área para os coletores também não é adequada, pois, os mesmos estão em número menor ao necessário e parcialmente sombreados, reduzindo a produção de energia pelo sistema.

- Adequação à disponibilidade de área em geral da edificação para o sistema.

Os demais equipamentos que compõe o sistema estão locados de forma adequada nas áreas disponíveis para os mesmos.

- Adequação das pressões na rede de água quente.

Problemas de pressão na rede foram contornados, por exemplo, com a instalação de um sistema de pressurização para os andares mais próximos aos reservatórios.

- Considerações gerais.

Como é possível observar, o edifício deste estudo de caso possui algumas dificuldades a mais do que as já esperadas para essa tipologia de sistema, que são a divisão dos gastos com energia auxiliar, a falta de promoção da conscientização do consumo e a oneração do condomínio, as quais também não foram solucionadas no mesmo.

6 SIMULAÇÃO DAS PROPOSTAS

As simulações são utilizadas para verificar se o sistema encontrado durante a revisão bibliográfica, de fato, proporciona um maior nível de individualização do sistema, sem prejudicar a produção do mesmo a ponto de não ser viável. Além disso, o sistema encontrado durante o estudo de caso também é simulado, tanto para haver uma comparação de nível de produção com o sistema encontrado na revisão bibliográfica, como para verificar se os pontos que não atendem aos requisitos inicialmente levantados realmente se apresentam.

6.1 Demanda

6.1.1 Padrão diário de consumo de água quente encontrado na revisão bibliográfica

Durante a revisão bibliográfica foram analisados alguns estudos, os quais tratavam da forma que a água quente era consumida pelos habitantes de um edifício durante o decorrer do dia, ou seja, se a mesma é consumida primordialmente na parte da manhã, tarde, ou noite, ou ainda de forma homogênea durante todo o dia, entre outros. Para a realização das simulações, serão utilizados dois dos padrões encontrados, por apresentarem diferenças no perfil em si e nas regiões originárias dos mesmos, o que influencia na cultura, economia e hábitos dos usuários dos sistemas de água quente. Um dos perfis utilizados será de um estudo realizado em um edifício de interesse

social da cidade de São Paulo de 1998 (PRADO & GONÇALVES, 1998), e o outro foi retirado da ASHRAE 90.2 de 2007 (ASHRAE, 2007), o qual retrata um consumo americano. Ambos os perfis foram encontrados em gráficos e transformados em tabela para facilitar a compreensão, e podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8 - Padrões de consumo de água quente baseado na revisão bibliográfica

Hora do dia	Porcentagem do consumo diário total	
	São Paulo	ASHRAE
1:00	1,30	1,00
2:00	0,67	1,00
3:00	1,00	1,00
4:00	1,68	1,00
5:00	4,38	1,00
6:00	5,39	7,20
7:00	3,37	7,20
8:00	5,05	6,40
9:00	2,69	6,40
10:00	3,37	6,40
11:00	4,04	4,70
12:00	4,71	4,70
13:00	4,04	3,80
14:00	2,69	3,80
15:00	2,02	3,80
16:00	5,05	3,80
17:00	4,71	6,20
18:00	10,00	6,20
19:00	7,41	6,20
20:00	9,43	6,20
21:00	5,39	5,00
22:00	4,71	5,00
23:00	4,71	1,00
24:00	2,00	1,00

Fonte: (PRADO & GONÇALVES, 1998) e (ASHRAE, 2007)

6.1.2 Padrão diário de consumo de água quente da família do estudo de caso

Um dos itens do questionário realizado com a família do estudo de caso era referente aos horários de consumo de água quente por cada um dos habitantes, e em qual aparelho é usada. Através das respostas deste item, foi possível traçar o padrão de consumo diário de água quente desta família, de forma similar aos encontrados durante a revisão bibliográfica. Tal padrão de consumo pode ser observado na Tabela 9.

Tabela 9 - Padrão de consumo de água quente da família do estudo de caso

	Porcentagem do consumo diário total
Hora do dia	Estudo de caso
1:00	
2:00	
3:00	
4:00	
5:00	
6:00	
7:00	4,4
8:00	36,2
9:00	
10:00	
11:00	
12:00	
13:00	
14:00	
15:00	
16:00	
17:00	
18:00	
19:00	23,2
20:00	23,2
21:00	13
22:00	
23:00	
24:00	

Fonte: Autor

6.1.3 Padrões diários de consumo de água quente simulados

A partir dos padrões de consumo de água quente encontrados durante a revisão bibliográfica e durante o estudo de caso, foram elaboradas algumas alternativas, tendo em vista possibilitar a análise de casos não usuais, mas que podem vir a acontecer, excepcionalmente, em edifícios residenciais e que, apesar de serem excepcionais, devem ainda assim conseguir obter os mesmos fatores solares na implantação do sistema de aquecimento.

Para a simulação das alternativas, o padrão de consumo do estudo de caso foi utilizado por ser o padrão de uma única família, e não de um edifício como um todo e, então, estar menos distribuído durante as horas do dia. Com isso, uma das alternativas concentrou o consumo em uma das extremidades do dia, uma outra alternativa na extremidade oposta do dia, e a terceira concentrou o consumo no meio do dia. Todos os padrões de consumo a serem simulados podem ser observados na Tabela 10.

Tabela 10 - Padrões de consumo de água quente utilizados nas simulações

Hora do dia	Porcentagem do consumo diário total					
	São Paulo	ASHRAE	Estudo de caso	Alternativo A	Alternativo B	Alternativo C
1:00	1,30	1,00				
2:00	0,67	1,00				
3:00	1,00	1,00				
4:00	1,68	1,00				
5:00	4,38	1,00				
6:00	5,39	7,20			4,4	
7:00	3,37	7,20	4,4	4,4	36,2	
8:00	5,05	6,40	36,2		23,2	
9:00	2,69	6,40			23,2	
10:00	3,37	6,40				
11:00	4,04	4,70				4,4
12:00	4,71	4,70				36,2
13:00	4,04	3,80				23,2
14:00	2,69	3,80				23,2
15:00	2,02	3,80				13
16:00	5,05	3,80				
17:00	4,71	6,20				
18:00	10,00	6,20				
19:00	7,41	6,20	23,2	23,2		
20:00	9,43	6,20	23,2	23,2		
21:00	5,39	5,00	13	13	13	
22:00	4,71	5,00		36,2		
23:00	4,71	1,00				
24:00	2,00	1,00				

Fonte: Autor

6.1.4 Volume total de água quente consumido por habitante

Durante a revisão bibliográfica, foram encontrados alguns valores diferentes de consumo de água por habitante. Foi proposto por um estudo grego um valor de 32,2 litros por dia por pessoa a 42°C (PAPAKOSTAS, PAPAGEORGIOU, & SOTIROPOULOS, 1995), já a ASHRAE propõe 50 litros por dia por pessoa a 60°C (ASHRAE, 2007).

O guia de parametrização propõe 95 litros por dia por pessoa a 40°C para o edifício do estudo de caso (ABRAVA et al, 2009).

Além disso, através do questionário respondido pela família do estudo de caso, é possível verificar que a mesma apresenta um consumo de 230 litros por pessoa por dia a 40°C aproximadamente.

Para a utilização, durante as simulações, foram descartados os dois valores extremos, ou seja, foram descartados o valor de 32 litros por dia por pessoa a 42°C proposto pelo estudo grego e o valor de 230 litros por pessoa por dia a 40°C observado nas respostas do questionário da família do estudo de caso.

Os valores propostos pela ASHRAE e pelo Guia de Parametrização da Lei Solar de São Paulo são próximos, portanto, para a realização das simulações será utilizado o valor proposto pelo Guia, de 95 litros por dia por pessoa a 40°C, por ser um valor local.

6.2 Produção

Para uma melhor comparação entre os sistemas, tanto o encontrado durante a revisão bibliográfica, como o sistema do edifício do estudo de caso, são propostas melhorias de forma a coloca-los em um mesmo patamar de comparação.

6.2.1 Melhorias propostas para o sistema do edifício do estudo de caso

Seguindo a forma de avaliação do sistema do estudo de caso, apresentada na seção 1085.5, as melhorias no sistema foram propostas de forma a solucionar as dificuldades encontradas, inclusive divididas da mesma forma.

6.2.1.1 Coletores solares

Durante a avaliação, foi verificado que o número de coletores instalados no edifício do estudo de caso não é suficiente para atender o fator solar mínimo de 40% estipulado pela Lei Solar de 2007 de São Paulo (SÃO PAULO, 2007), segundo a forma de dimensionamento proposta pelo Guia de Parametrização de tal lei (ABRAVA et al, 2009). Além disso, haviam problemas quanto à locação e forma de interligação dos coletores.

Então, é proposto que o número de coletores seja elevado para o obtido na Tabela 6 da seção 5.5, que é de 72 coletores de 2 m² cada, com uma produção de 96,2 kWh/mês/m² (INMETRO, 2017a).

O posicionamento dos coletores e suas interligações foram alteradas de forma a atender as boas práticas de instalações (RODRIGUES & MATAJS, 2010). O posicionamento e interligação propostos, já com o número ampliado de coletores, podem ser observados na Figura 39.

Figura 39 - Planta baixa da cobertura do edifício do estudo de caso com a proposta de novo posicionamento dos coletores solares

Fonte: Autor

6.2.1.2 Reservatórios térmicos

Tendo em vista que a dificuldade encontrada referente aos reservatórios térmicos não é o seu volume, mas sim a sua forma de interligação, é proposto que a mesma seja alterada, conforme Figura 40, de modo que a água aquecida pelos coletores solares possa ser direcionada diretamente ao reservatório de onde parte a água enviada ao consumo (COMGÁS, 2011).

Figura 40 - Forma de interligação proposta para os reservatórios térmicos

Fonte: (COMGÁS, 2011)

6.2.1.3 Distribuição

É proposto que sejam instalados os medidores de água quente nas entradas de cada apartamento, onde já há o espaço destinado a essa instalação. Também é proposta a instalação de um medidor de gás exclusivo para o aquecimento auxiliar, de forma a se ter uma divisão do que é consumido para o aquecimento de água e o que é consumido pelas áreas comuns do condomínio.

Com ambos, será possível ao menos realizar a divisão proporcional do gasto com água e com a energia auxiliar. Apesar de não ser o ideal, pois, a divisão do consumo ainda é uma responsabilidade do condomínio, e o seu não pagamento por algum dos apartamentos ainda onera o mesmo, este é o mais próximo possível de se individualizar um sistema como o do edifício do estudo de caso.

Além disso, se faz necessária a instalação de isolamento térmico nos locais onde o mesmo não foi instalado como, por exemplo, nas tubulações da bomba de pressurização.

6.2.1.4 Recirculação

Para promover uma melhor recirculação do circuito de água quente, é necessário que se estabeleçam as temperaturas de acionamento e desligamento das bombas de recirculação, conforme as boas práticas de engenharia (RODRIGUES & MATAJS, 2010).

6.2.2 Melhorias propostas para o sistema encontrado na revisão bibliográfica

O questionamento entorno do sistema encontrado na revisão bibliográfica é referente a uma maior perda térmica no mesmo, dado o maior número de reservatórios existentes no sistema. As perdas térmicas nos reservatórios ocorrem, tanto do seu interior para o exterior, como com a troca de calor pela estratificação da água dentro do próprio reservatório. Portanto, com um número maior de reservatórios, há mais locais de ocorrência de perda térmica (WOLF, 1980).

Um estudo indiano, voltado à otimização de sistemas de aquecimento solar, propõe que seja alterada a forma de reposição de água fria nos reservatórios térmicos, de forma a reduzir as perdas térmicas do sistema.

Habitualmente, tão logo a água aquecida sai do reservatório para ser consumida, é realizada a entrada de água fria no reservatório, de modo a repor tal volume. Essa água fria acaba por retirar calor da água quente que ainda se encontra no reservatório e, com isso, é gerada uma perda térmica no sistema. Para que, mesmo com tal perda térmica, o sistema continue atendendo a demanda, se faz necessário que o mesmo possua um tamanho maior do que o necessário (KULKARNI, KEDARE, & BANDYOPADHYAY, 2009).

O estudo indiano propõe que a água fria seja repostada no reservatório apenas em momentos em que o sistema de aquecimento solar esteja em funcionamento, ou seja, esteja ganhando energia. No período noturno, por exemplo, não há ganhos de energia no sistema, e a entrada de água fria no reservatório retira ainda mais o calor que ainda estava reservado para ser usado nos momentos de não operação. Portanto, ao alterar a reposição de água, se deixa de perder calor, e se reduz a necessidade de ampliação do sistema, otimizando-o (KULKARNI, KEDARE, & BANDYOPADHYAY, 2009).

Utilizando os conceitos do estudo indiano, a melhoria proposta para o sistema do estudo de caso é instalar controladores térmicos nos reservatórios das unidades

privativas, para que os mesmos só aceitem a entrada de água fria enquanto o sistema estiver em produção. Além disso, é proposto que esse conceito só passe a valer se o volume do reservatório estiver acima de um volume mínimo, evitando-se assim que o mesmo fique sem água.

Desta forma, com as melhorias propostas para o sistema, é possível desprezar as perdas térmicas internas, sendo necessário contabilizar apenas as perdas térmicas para a área externa. Na tabela do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) que classifica reservatórios térmicos, são apresentados os valores de perda específica de energia mensal de cada modelo de reservatório e, com tal informação, é possível verificar o impacto da instalação de um reservatório para cada unidade privativa (INMETRO, 2017b).

Na Tabela 11, são apresentados os valores de perda de energia mensal, tanto para a forma em que é reservada a água quente no sistema do estudo de caso, como no sistema encontrado na revisão bibliográfica. A porcentagem de perdas térmicas totais do sistema do estudo de caso é a sugerida pela metodologia do guia de parametrização, igual a 15% do total de energia necessária para aquecer a demanda de água quente (ABRAVA et al, 2009). Já a porcentagem de perdas térmicas nas tubulações do mesmo sistema foi definida através da subtração das perdas térmicas totais em reservatórios, apresentadas por um estudo científico no valor de 10% das perdas térmicas totais (MARIOTONI & G, 2007), resultando em um valor de 5%. A porcentagem de perdas por estratificação foi encontrada a partir das perdas totais, subtraindo-se as perdas calculadas nos reservatórios e as perdas das tubulações. O dado de maior relevância da tabela é a porcentagem de perdas térmicas totais calculadas para o sistema encontrado na revisão bibliográfica, o qual, através das melhorias, desprezou-se suas perdas por estratificação.

Tabela 11 - Cálculo das perdas térmicas do sistema encontrado no estudo de caso

Sistema	Tipos de reservatórios		Volume Total (L)	Perda térmica específica		Perda térmica total (kWh/mês)	Consumo de energia diário (kWh/dia)	Consumo de energia mensal (kWh/mês)	Porcentagem de perdas ref. Reservatório (%)	Porcentagem de perdas por estratificação (%)	Porcentagem de perdas nas tubulações (%)	Porcentagem em total perdas térmicas (%)
	Qtde	Volume (L)		kWh/mês/L	kWh/mês							
Estudo de Caso	8	2000	16000	0,09	1440	1440	637	19110	7,5	2,5	5,0	15
Revisão Bibliográfica	104	200	20800	0,12	2496	2946	637	19110	15	0	5,0	20
	1	5000	5000	0,09	450							
				Diferença poporcional entre sistemas		2,05						

Fonte: Autor

Chegou-se à conclusão de que no sistema encontrado na revisão bibliográfica há uma maior perda térmica, fazendo-se necessária a realização de um novo cálculo de quantidade mínima de coletores para o sistema atender a fração solar mínima de 40%, exigida pela lei de 2007 da cidade de São Paulo (SÃO PAULO, 2007).

A Tabela 12, ainda com base na proposta do guia de parametrização, apresenta o cálculo do número de coletores para o sistema encontrado na revisão bibliográfica.

Tabela 12 - Simulação do sistema encontrado na revisão bibliográfica segundo o guia de parametrização da lei solar de 2007 de São Paulo

Fatores de cálculo

Legenda de Referência

Fator de cálculo

Aplicado a cada situação

Parâmetro pré-definido

Resultado intermediário

Consumo diário por habitante (litros a 40°C)

Vazão do chuveiro (l/min)

Tempo do banho (min)

Lavatório (l/usuário)

Cozinha (l/usuário)

Consumo por usuário (litros)

Habitantes por unidade (n° quartos + 1 ≤ 5)

1 quarto por unidade

2 quartos por unidade

3 quartos por unidade

4 quartos ou mais por unidade

Fator de ocupação

Até 9 unidades habitacionais

De 10 a 19 unidades habitacionais

De 20 a 39 unidades habitacionais

40 ou mais unidades habitacionais

Fator de orientação

Desvio do norte geográfico de 0° a 30°

Desvio do norte geográfico de 31° a 60°

Desvio do norte geográfico de 61° a 90°

Cálculo de área de coletores solares em edificações residenciais

Consumo por habitante (litros a 40°C)

Usuários por unidade habitacional

Litros por usuário (litros)

Consumo diário por unidade habitacional

Unidades habitacionais atendidas pelo sistema

Fator de Ocupação

Consumo diário de água (litros)

Temperatura de uso (°C)

Temperatura da água fria (°C)

Energia útil consumida (kWh/dia)

Perdas térmicas (% para estocagem a 45° conf. NB 15569)

Energia total consumida (kWh/dia)

Produção média de energia necessária

Fator de orientação (conforme Dec. Regulamentação 49148)

Fator de correção de SP para o coletor (conf. lei SP 14.459)

Produção média diária de energia necessária (kWh/dia Nominal)

Produção média mensal de energia necessária (kWh/mês)

Fração Solar desejada (%)

Produção média de energia (kWh/mês nominal)

Área de captação

Produção média de energia mensal do coletor (kWh/mês/m²) conf. Tabela do INMETRO

Área do coletor (m²) conf. Tabela do INMETRO

Número mínimo de coletores (para atendimento à fração solar de 40% exigida na Lei)

Número ideal de coletores (para atendimento à fração solar ideal de 70%)

Área mínima de coletores (para atendimento a fração solar desejada) (m²)

Área ideal de coletores necessária (m²)

Fator de aproveitamento do espaço (no caso de coberturas)

Área mínima de cobertura plana a ser disponibilizada para a instalação (m²)

Área ideal de cobertura plana a ser disponibilizada para a instalação (m²)

Notas

1.

Este modelo de cálculo foi desenvolvido com vistas à parametrização para atendimento à lei 14.459 do Município de São Paulo.

2.

A metodologia adotada sugere parâmetros genéricos de cálculo, sendo que situações específicas deverão ser avaliadas por profissional habilitado.

3.

Dimensionamento e detalhamento definitivos devem ser definidos em projeto específico.

Fonte: (ABRAVA et al, 2009)

O sistema encontrado na revisão bibliográfica, após as melhorias propostas, precisará de um total de 75 coletores solares, ao invés dos 72 necessários no sistema do estudo de caso. A disposição de tais coletores é apresentada na Figura 41.

Figura 41 - Disposição dos coletores solares para o sistema encontrado na revisão bibliográfica

Fonte: Autor

A distribuição de água aquecida pelo sistema, nos moldes do sistema encontrado durante a revisão bibliográfica, é apresentada na Figura 42. E na Figura 43, é apresentada a instalação de cada unidade privativa.

Figura 42 - Distribuição da água aquecida pelo sistema de aquecimento solar conforme sistema encontrado na revisão bibliográfica

Fonte: Autor

Figura 43 - Instalação das unidades privativas conforme sistema encontrado na revisão bibliográfica

Fonte: (COMGÁS, 2011)

Com isso, tem-se, tanto o sistema do estudo de caso, como o sistema encontrado durante a revisão bibliográfica aprimorados para serem utilizados nas simulações.

6.3 Desempenho

6.3.1 Dados climáticos

De forma a avaliar a produção dos sistemas encontrados durante a revisão bibliográfica e durante o estudo de caso, aprimorados neste capítulo, foram utilizados dados de Irradiação Global Horária (no plano inclinado a 27° da horizontal) e Temperatura Ambiente da cidade de São Paulo, coletada de forma horária, durante todos os dias do ano de 2016. Tal banco de dados foi fornecido pela professora doutora Eliane Fadigas, e elaborado pelo professor doutor Roberto Zilles, do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (FADIGAS, 2018).

O Gráfico 8 apresenta a média da irradiação global horária no plano inclinado a 27° da horizontal. Já o Gráfico 9 apresenta a soma diária de irradiação durante o ano. O Gráfico 10 e o Gráfico 11 apresentam a temperatura ambiente média horária e as temperaturas máximas e mínimas durante o ano, respectivamente.

Gráfico 8 – Irradiação Global Horária média no plano inclinado

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de Fadigas (2018)

Gráfico 9 – Soma da Irradiação Global Horária diária no plano inclinado durante o ano

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de Fadigas (2018)

Gráfico 10 – Média da temperatura ambiente

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de Fadigas (2018)

Gráfico 11 – Temperaturas ambiente máximas e mínimas

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de Fadigas (2018)

Os coletores recebem a irradiação solar e, por isso, tais dados são fundamentais para o cálculo de produção do sistema. Já os valores referentes à temperatura ambiente são utilizados para avaliar a temperatura da água e, calcular as perdas térmicas da água contida no reservatório térmico para o ambiente.

6.3.2 Definições das simulações

Com os dados de irradiação global horária e temperatura ambiente, foram montadas sete planilhas diferentes de simulação. Em cada uma delas, foram realizados os cálculos referentes à produção de energia, por um dos tipos de sistema (do estudo de caso ou da revisão bibliográfica), e o seu atendimento à demanda referente à uma das alternativas de padrão de consumo de água quente, simulando o consumo do edifício como um todo. Posteriormente, é avaliado o atendimento à demanda das demais alternativas, de forma a simular o consumo de água quente de uma única unidade, o qual difere do padrão do edifício no geral. Ou seja, em cada uma das alternativas, foi avaliado como o sistema atenderia à demanda de água quente, caso o edifício como um todo possuísse um determinado padrão de consumo e apenas um apartamento do edifício possuísse um outro padrão de consumo diferente.

A seguir são apresentadas as especificidades de cada uma das 7 simulações diferentes:

- I. A primeira simulação avalia como o sistema do estudo de caso atenderia à demanda gerada pelo padrão de consumo de água quente encontrado no estudo de São Paulo (PRADO & GONÇALVES, 1998), de forma genérica em todos os seus apartamentos. A partir de então, é avaliado como a demanda de um único apartamento seria atendida caso o mesmo possuísse uma das demais alternativas de padrão de consumo. Portanto, na segunda parte da simulação, é avaliado o atendimento de um único apartamento, com cada uma das demais alternativas de padrão de consumo. O Gráfico 12 apresenta como foram utilizadas as alternativas de padrão de consumo na primeira simulação.

Gráfico 12 – Padrões de consumo de água utilizados na primeira simulação

Fonte: Autor

- II. A segunda simulação é similar a primeira, porém, o consumo geral do edifício terá como base o padrão de consumo americano (ASHRAE, 2007) (Gráfico 13). Já a segunda parte da simulação permanece idêntica. Isso se dá pois, tanto o padrão de consumo americano, como o de São Paulo, são distribuídos e caracterizam-se por representarem diversos apartamentos, portanto, não foram utilizados na segunda parte da simulação, a qual representa a realidade de consumo de um único apartamento.

Gráfico 13 – Padrões de consumo de água utilizados na segunda simulação

Fonte: Autor

- III. A terceira simulação continua a utilizar o sistema do estudo de caso, porém, com o consumo geral do edifício seguindo um padrão não distribuído, ou seja, o consumo geral do edifício seguirá o padrão de consumo da família do estudo de caso (Gráfico 14). A segunda etapa da simulação permanecerá a mesma.

Gráfico 14 – Padrões de consumo de água utilizados na terceira simulação

Fonte: Autor

- IV. A quarta simulação é similar a terceira, porém, o consumo geral do edifício segue o padrão da alternativa A, a qual concentra o consumo de água quente no período noturno (Gráfico 15).

Gráfico 15 – Padrões de consumo de água utilizados na quarta simulação

Fonte: Autor

- V. A quinta simulação é similar a quarta simulação, porém, o consumo geral do edifício segue o padrão da alternativa B, a qual concentra o consumo no período da manhã (Gráfico 16).

Gráfico 16 – Padrões de consumo de água utilizados na quinta simulação

Fonte: Autor

- VI. A sexta simulação é similar a quinta, porém, o consumo geral do edifício segue o padrão da alternativa C, a qual concentra o consumo de água quente no meio do dia (Gráfico 17).

Gráfico 17 – Padrões de consumo de água utilizados na sexta simulação

Fonte: Autor

- VII. Finalmente, a sétima simulação passa a utilizar o sistema encontrado durante a revisão bibliográfica. Devido ao fato do mesmo já propor a individualização, não se faz necessário realizar o mesmo número de simulações feitas com o sistema encontrado no estudo de caso, pois, o consumo coletivo não interfere nos consumos individuais e, tampouco os consumos individuais interferem no consumo coletivo. Desta forma, esta simulação é realizada em uma única etapa, já comparando o padrão de consumo de São Paulo, o americano, o da família do estudo de caso e o das alternativas A, B e C (Gráfico 18).

Gráfico 18 – Padrões de consumo de água utilizados na sétima simulação

Fonte: Autor

6.3.3 Descrições dos cálculos realizados

Para a realização das simulações, é necessário avaliar o sistema como um todo e sua evolução com o passar das horas, tanto em relação aos ganhos de energia, como em relação às perdas térmicas e a reserva de energia. Para tanto, é utilizada a metodologia proposta por Duffie e Beckman (DUFFIE & BECKMAN, 1980), no capítulo

10 de seu livro intitulado “Cálculos térmicos do sistema”, bem como todos os conceitos apresentados nos demais capítulos do mesmo.

Os cálculos têm como objetivo encontrar a temperatura do reservatório ao final de cada hora. Para tanto, a partir da temperatura do reservatório no início de uma determinada hora, soma-se o ganho de energia pelos coletores solares, subtrai-se a perda térmica do reservatório para o ambiente, e também se subtrai a saída de água para o atendimento da demanda durante a determinada hora. A fórmula proposta por Duffie e Beckman (DUFFIE & BECKMAN, 1980) para tanto é a seguinte:

$$T^+s = Ts + \frac{\Delta t}{(mCp)_s} \{Ac[F_R\tau\alpha Ir - F_RU_L(Ts - Ta)]^+ - (UA)_s(Ts - T'a) - \varepsilon_L(mCp)_{min}(Ts - T_{Lr})\}$$

Onde:

T^+s = Temperatura do reservatório ao final da hora em graus Celsius

Ts = Temperatura do reservatório ao início da hora em graus Celsius

Δt = Intervalo de tempo em horas

m = Massa do reservatório em quilogramas

Cp = Calor específico da água em mega Joule por quilograma por grau Celsius

Ac = Área dos coletores solares em metros quadrados

$F_R\tau\alpha$ = Fator de ganhos do coletor (adimensional)

Ir = Irradiação Global horária (Inclinada 27°) em mega Joule por metro quadrado

F_RU_L = Fator de perdas do coletor (adimensional)

Ta = Temperatura ambiente em graus Celsius

UA = Coeficiente de perdas térmicas do reservatório em mega Joule por grau Celsius

$\varepsilon_L(mCp)_{min}$ = Consumo de água quente em mega Joule por grau Celsius

T_{Lr} = Temperatura da água de reposição em graus Celsius

Tal fórmula pode ser dividida em 3 grandes partes de forma a facilitar a avaliação do sistema:

- A primeira parte, descrita no trecho $Ac[F_R\tau\alpha Ir - F_RU_L(Ts - Ta)]^+$, representa os ganhos de energia térmica obtidos pelos coletores solares. Tal parte possui um sinal de mais (+) pois, os ganhos só podem ser positivos, visto que, em caso contrário o sistema não é ligado.
- A segunda parte, descrita no trecho $(UA)_s(Ts - T'a)$, representa as perdas térmicas da água, contida no reservatório, para o ambiente. Portanto, a

segunda parte da fórmula é dependente do isolamento térmico existente no reservatório utilizado.

- A terceira parte, descrita no trecho $\varepsilon_L(mCp)_{min}(Ts - T_{Lr})$, representa as perdas ocorridas pela reposição de água no reservatório, após a saída de água quente do mesmo para o atendimento da demanda. Neste momento, há a saída de água do reservatório em temperatura elevada e, ao mesmo tempo, a entrada de água ainda fria, de forma a repor o volume perdido. O volume de água aquecida que ainda permanece no reservatório acaba por perder calor para este novo volume de água, ainda fria, no momento do contato de um com o outro e, com isso, é gerada a perda térmica, a qual deve ser considerada no sistema como um todo. Cabe ressaltar que, idealmente, deve-se criar uma estratificação dentro do reservatório, de forma a minimizar tal perda. Devido a mudança de densidade da água quando a mesma é aquecida, o volume em temperatura mais elevada se posiciona fisicamente, dentro do reservatório, acima de volumes com temperaturas menos elevadas. Portanto, deve-se inserir a água de reposição em uma posição física, do reservatório, onde o volume está em temperatura mais baixa, possuindo então um menor diferencial de temperatura a ser trocada entre volumes, reduzindo as perdas térmicas. Porém, para a realização dos cálculos de perda térmica quando o reservatório é estratificado, se faz necessária a utilização de *softwares* específicos, dado ao fato da necessidade da integração dos cálculos de perdas térmicas dos, incontáveis, volumes de água com temperaturas diferentes. Portanto, nas simulações realizadas, não é considerada a estratificação do reservatório. Também se faz necessário citar que, para o sistema encontrado na revisão bibliográfica, foi proposto, como melhoria neste capítulo, que a reposição de água fria ocorra apenas quando houver ganhos do sistema, ou seja, ela não será necessariamente imediata a saída de água quente do reservatório para o atendimento da demanda, havendo variações no volume total do reservatório.

Com os dados de Irradiação Global Horária no plano inclinado, consumo horário de água a 40°C, área coletora, características dos coletores empregados, volume dos reservatórios e temperatura inicial do sistema, é possível calcular como ficará a temperatura da água no reservatório após cada hora. A temperatura inicial será dinâmica, sempre assumindo o valor da temperatura final da hora anterior.

A energia auxiliar utilizada será calculada a partir da diferença entre a temperatura disponível no reservatório no início da hora e a temperatura na qual a água será de fato consumida e, com isso, é calculada a energia necessária para suprir tal diferença. Por fim, o fator solar é calculado subtraindo-se a energia auxiliar do total de energia necessária para atender a demanda de água quente, gerando-se um percentual. A planilha de cálculo será dividida em duas partes, sendo a primeira com os dados horários e climáticos, iniciando na primeira hora do dia primeiro de janeiro de 2016, conforme Tabela 13.

Tabela 13 – Primeira parte da planilha de cálculo, com dados horários e climáticos

DADOS HORÁRIOS E CLIMÁTICOS						
Matriz	Ano	Data	Dia Juliano	Hora	Irradiação Global horária (Inclinada 27°) kWh/m ²	Temperatura ambiente °C
101	2016	01/01/2016	1	1	0	22,39

Fonte: Autor

Já a segunda parte da planilha de cálculo é composta pela porcentagem de consumo de cada simulação, também iniciando na primeira hora do dia, a sua transformação em consumo de água quente horário, e a aplicação da fórmula de Duffie e Beckman (DUFFIE & BECKMAN, 1980), conforme Tabela 14.

Tabela 14 – Segunda parte da planilha de cálculo

Porcentagem de consumo por hora (%)	Consumo AQ 40°C por hora (Litros)	Ts (°C)	Qs (MJ)	Perda tanque (MJ)	Perda reposição (MJ)	Ts+ (°C)	Energia auxiliar (MJ)	Demanda de energia total (MJ)	Fração solar (%)
-------------------------------------	-----------------------------------	---------	---------	-------------------	----------------------	----------	-----------------------	-------------------------------	------------------

Fonte: Autor

6.3.4 Resultados obtidos

a) Primeira simulação:

Na primeira simulação, foram obtidas as curvas de temperatura inicial do reservatório, produção de energia pelos coletores solares, perdas térmicas do reservatório, perdas térmicas por reposição de água e temperatura ao final do reservatório térmico, a cada hora, conforme pode ser observado nos gráficos do Apêndice A.

Com tal produção de energia, para atender a demanda do edifício como um todo (seguindo o padrão do estudo de São Paulo), será necessária a utilização de energia auxiliar. É calculado exatamente o quanto de energia auxiliar é necessário a cada hora, para elevar a temperatura da água que sai do tanque para a temperatura de consumo de 40°C. Com isso, se obtém a curva de energia auxiliar necessária durante o ano, para o edifício como um todo, como também pode ser observado no Apêndice A.

Observando-se, então, como se comportaria apenas uma unidade, a qual participa do sistema de aquecimento solar utilizado pelo edifício como um todo, tem-se a avaliação de como o momento do seu consumo de água quente irá influenciar na quantidade de energia auxiliar que será necessária, para que a água que sai do reservatório térmico atinja a temperatura ideal para consumo. É possível observar, então, a quantidade de energia auxiliar necessária para o consumo de um único apartamento, sendo o seu padrão de consumo baseado nas alternativas apresentadas nas seções anteriores.

A Tabela 15 apresenta, por fim, os totais anuais de energia para o atendimento à demanda de água quente, de energia auxiliar e a fração solar, ou seja, a porcentagem do valor total de energia para o aquecimento da água que foi atendido pelo sistema de aquecimento solar.

Tabela 15 - Resumo dos resultados da primeira simulação

	Edifício como um todo	Uma única unidade			
		Estudo de caso	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Demanda de energia total durante o ano (MJ)	1305895,25	9548,85	9559,69	9685,54	8914,04
Total de energia auxiliar utilizada no ano (MJ)	843630,19	7172,65	6567,25	8760,35	4009,98
Porcentagem de energia auxiliar (%)	64,60	75,12	68,70	90,45	44,99
Fração Solar (%)	35,40	24,88	31,30	9,55	55,01

Fonte: Autor

Pode-se se observar nos valores obtidos pela simulação, que o padrão de consumo possui grande influência na fração solar e na quantidade de energia auxiliar requerida. A alternativa B, com o consumo concentrado na parte da manhã, requer mais energia auxiliar, pois, o reservatório fica por mais tempo, desde a sua parada de produção até o momento do consumo, perdendo calor para o ambiente, não conseguindo manter a água em temperatura ideal para consumo, no momento da ocorrência do mesmo.

A energia auxiliar, em um sistema como o do edifício do estudo de caso, não seria paga diretamente pela unidade consumidora pois, a energia auxiliar neste tipo de sistema não é individualizada. Com isso, a energia auxiliar é dividida igualmente entre todas as unidades, independente se o padrão de consumo da uma determinada unidade necessitar de mais ou menos energia auxiliar. Entretanto, a avaliação do consumo de energia auxiliar por cada unidade privativa é interessante para promover melhorias quanto a sua individualização, em um possível futuro.

b) Segunda simulação:

Na segunda simulação e inclusive nas demais, até a sexta simulação, foram obtidos os mesmos gráficos da primeira, apenas com a modificação dos valores.

A Tabela 16 apresenta um resumo dos resultados.

Tabela 16 - Resumo dos resultados da segunda simulação

	Edifício como um todo	Uma única unidade			
		Estudo de caso	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Demanda de energia total durante o ano (MJ)	1304005,46	9548,85	9559,69	9685,54	8914,04
Total de energia auxiliar utilizada no ano (MJ)	864462,15	6954,64	6229,23	8686,31	4065,93
Porcentagem de energia auxiliar (%)	66,29	72,83	65,16	89,68	45,61
Fração Solar (%)	33,71	27,17	34,84	10,32	54,39

Fonte: Autor

É possível observar que, com o edifício como um todo com o padrão de consumo proposto pela ASHRAE, os valores de fração solar de uma única unidade são superiores aos da primeira simulação, independente do padrão de consumo da unidade em si. A diferença de fração solar entre os diferentes padrões de consumo, para uma única unidade, se manteve similar à simulação anterior, com a alternativa B sendo a com menor fração solar.

c) Terceira simulação:

A terceira simulação difere das anteriores apenas quanto ao padrão de consumo do edifício como um todo, porém, foram extraídos os mesmos gráficos. A Tabela 17 apresenta um resumo dos resultados.

Tabela 17 - Resumo dos resultados da terceira simulação

	Edifício como um todo	Uma única unidade			
		Estudo de caso	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Demanda de energia total durante o ano (MJ)	1324106,81	9548,85	9559,69	9685,54	8914,04
Total de energia auxiliar utilizada no ano (MJ)	928061,17	6692,75	6387,18	8877,14	3408,35
Porcentagem de energia auxiliar (%)	70,09	70,09	66,81	91,65	38,24
Fração Solar (%)	29,91	29,91	33,19	8,35	61,76

Fonte: Autor

Nesta simulação, os valores de fração solar não mudaram de forma proporcional, como o ocorrido entre a primeira e a segunda simulação. Na terceira simulação, a alternativa com o padrão de consumo do estudo de caso (o mesmo do edifício como um todo) obteve um aumento de sua fração solar, isso também ocorreu com a alternativa C. Já nas alternativas A e B, houve uma redução do valor da fração solar.

Observa-se que nas duas primeiras simulações, onde o edifício como um todo seguia um padrão de consumo distribuído durante o dia, a variação das frações solares foi proporcional, ou seja, todas as alternativas tiveram frações solares maiores na segunda simulação em comparação com a primeira. Porém, ao alterar o padrão de consumo do edifício como um todo para um padrão com consumos

concentrados em determinados momentos, o que se aproxima mais de um padrão de consumo de uma única unidade, as frações solares se alteraram de forma diferente, com algumas alternativas aumentando e de outras diminuindo suas frações solares, mostrando como o padrão de consumo do edifício como um todo influencia, de forma significativa, a fração solar de cada uma das unidades privativas.

d) Quarta simulação:

A quarta simulação é realizada utilizando-se a alternativa A de padrão de consumo para o edifício como um todo.

A Tabela 18 apresenta um resumo dos resultados.

Tabela 18 - Resumo dos resultados da quarta simulação

	Edifício como um todo	Uma única unidade			
		Estudo de caso	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Demanda de energia total durante o ano (MJ)	1325609,82	9548,85	9559,69	9685,54	8914,04
Total de energia auxiliar utilizada no ano (MJ)	889713,79	6719,80	6416,21	8968,95	3627,72
Porcentagem de energia auxiliar (%)	67,12	70,37	67,12	92,60	40,70
Fração Solar (%)	32,88	29,63	32,88	7,40	59,30

Fonte: Autor

Nesta simulação, as frações solares das alternativas de consumo para uma única unidade privativa pouco se alteraram em relação a terceira simulação. Porém, as alterações de tais frações solares ocorreram de forma proporcional entre todas as

alternativas, sendo que todas apresentaram uma fração um pouco inferior em relação as obtidas na terceira simulação.

e) Quinta simulação:

A quinta simulação é realizada utilizando-se a alternativa B de padrão de consumo para o edifício como um todo.

A Tabela 19 apresenta um resumo dos resultados.

Tabela 19 - Resumo dos resultados da quinta simulação

	Edifício como um todo	Uma única unidade			
		Estudo de caso	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Demanda de energia total durante o ano (MJ)	1343062,16	9548,85	9559,69	9685,54	8914,04
Total de energia auxiliar utilizada no ano (MJ)	1124422,11	4986,03	3751,79	8108,81	3509,88
Porcentagem de energia auxiliar (%)	83,72	52,22	39,25	83,72	39,37
Fração Solar (%)	16,28	47,78	60,75	16,28	60,63

Fonte: Autor

Em geral, todas as alternativas apresentam um aumento de fração solar, nesta simulação, se comparado com todas as demais simulações, independente do padrão de consumo do edifício como um todo. Cabe salientar que a fração solar da alternativa A e da alternativa B praticamente dobraram em relação a todas as demais simulações. Na simulação de uma unidade com o padrão de consumo da alternativa C, o aumento foi um pouco menor e o valor total ficou abaixo do encontrado na terceira simulação. Porém, a fração solar do edifício como um todo obteve um valor muito abaixo do encontrado nas demais simulações, sendo

aproximadamente a metade do valor encontrado nas mesmas, e até menos da metade do valor encontrado na primeira simulação.

f) Sexta simulação:

A sexta simulação é realizada utilizando-se a alternativa C de padrão de consumo para o edifício como um todo.

A Tabela 20 apresenta um resumo dos resultados.

Tabela 20 - Resumo dos resultados da sexta simulação

	Edifício como um todo	Uma única unidade			
		Estudo de caso	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Demanda de energia total durante o ano (MJ)	1236079,54	9548,85	9559,69	9685,54	8914,04
Total de energia auxiliar utilizada no ano (MJ)	811975,55	6838,40	5672,49	8691,33	5855,59
Porcentagem de energia auxiliar (%)	65,69	71,61	59,34	89,74	65,69
Fração Solar (%)	34,31	28,39	40,66	10,26	34,31

Fonte: Autor

Nesta simulação, a fração solar encontrada para o edifício como um todo possui um valor maior que o dobro do obtido na quinta simulação, se aproximando do valor obtido nas demais simulações. Porém, o valor das demais alternativas sofreu uma redução significativa, mas também se aproximando dos valores obtidos nas demais simulações. A única exceção se dá na simulação de uma única unidade com a alternativa C de padrão de consumo, a qual apresenta, nesta sexta simulação, um valor muito abaixo se comparado com todas as demais, se aproximando até, praticamente, da metade dos demais valores obtidos

g) Sétima simulação:

A sétima simulação difere de todas as demais, inclusive nos gráficos gerados, pois, o sistema simulado é alterado. Conforme apresentado na seção 6.3.2, esta simulação utiliza o sistema encontrado na revisão bibliográfica, o qual foi aprimorado na seção 6.2.2. Ainda conforme apresentado na seção 6.3.2, essa simulação é realizada apenas uma vez, utilizando-se todas as alternativas de padrão de consumo. Porém, devido ao fato de cada unidade possuir seu próprio reservatório térmico, tem-se resultados dos valores referentes à produção do sistema, suas perdas e temperaturas inicial e final, de cada hora, no reservatório, para cada uma das alternativas de padrão de consumo. No Apêndice A é possível observar todos os gráficos com os resultados e, também, a energia auxiliar necessária para os diversos padrões de consumo.

A Tabela 21 apresenta um resumo das frações solares obtidas em todas as simulações, para cada uma das variações de padrão de consumo de água quente.

Tabela 21 - Resumo dos resultados da sétima simulação

	São Paulo	ASHRAE	Estudo de caso	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Demanda de energia total durante o ano (MJ)	12556,69	12066,52	9548,85	9559,69	9685,54	8914,04
Total de energia auxiliar utilizada no ano (MJ)	8487,99	8661,68	6074,36	4628,16	8604,99	5743,68
Porcentagem de energia auxiliar (%)	67,60	71,78	63,61	48,41	88,84	64,43
Fração Solar (%)	32,40	28,22	36,39	51,59	11,16	35,57

Fonte: Autor

Nesta simulação, os valores de fração solar obtidos para os padrões de consumo do estudo de São Paulo e da ASHRAE ficaram um pouco abaixo dos encontrados nas simulações 1 e 2. Já os valores obtidos para o padrão de consumo do estudo de caso, alternativa A e alternativa B ficaram acima da média dos valores obtidos nas simulações de 1 a 6. O valor obtido para o padrão de consumo da alternativa C também ficou abaixo da média de valor das simulações anteriores.

6.3.5 Avaliação dos resultados

Com os resultados das sete simulações realizadas, é possível chegar as seguintes observações:

- Os hábitos de consumo de água quente são influenciadores diretos na eficiência dos sistemas, independente de qual.
- Os hábitos das alternativas A e C apresentam os maiores valores de fator solar.
- No sistema do estudo de caso, as frações solares de cada unidade individual é influenciada, não só pelo seu próprio padrão de consumo, mas também pelo consumo do edifício como um todo.
- No sistema da revisão bibliográfica, a redução do fator solar não é significativa para o sistema como um todo.
- A alternativa C de padrão de consumo apresentou um valor inferior de fração solar no sistema individualizado pois, não foi considerada a estratificação do reservatório, como mencionado na seção 6.3.3. A não estratificação do reservatório leva a necessidade de aquecer todo o seu volume, o que levaria tempo, o qual vem a ser o mesmo onde está ocorrendo o consumo da água nesta alternativa, desta forma, o reservatório inteiro não atinge a temperatura ideal, reduzindo o valor da fração solar. Porém, se o reservatório fosse estratificado, no momento do consumo da água já haveria um volume na temperatura ideal para suprir a demanda, aumentando a fração solar.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema “Solar coletivo com acumulação privado e auxiliar instantâneo privado” foi o que mais se aproximou de atender a todos os requisitos definidos durante a revisão bibliográfica. Os requisitos que não foram atendidos por tal sistema se referem à problemas de maiores perdas térmicas. Já existem estudos que podem minimizar tais problemas, com a proposta de se alterar a forma de reposição de água fria no reservatório térmico. A eficácia de tal solução é avaliada durante as simulações, porém, em um futuro próximo, é possível vislumbrar ainda mais melhorias neste sistema como, por exemplo, as que foram discutidas na seção “Formas de otimização dos sistemas de aquecimento solar de água”.

Já durante o estudo de caso, foi possível observar algumas dificuldades no sistema, além das que já haviam sido observadas para um sistema similar durante a revisão bibliográfica. Esses problemas são, por exemplo, os sombreamentos dos coletores, o que prejudica a produção do sistema. Já a falta de medição individualizada de água quente, além de possibilitar que ocorram injustiças na divisão dos gastos, também não promove o uso consciente da água. Tais dificuldades vão além da não individualização do gás, já esperada para sistemas do tipo “Solar coletivo com auxiliar de acumulação coletivo”, o qual é o tipo de sistema instalado no edifício estudado, e geram ainda mais prejuízos ao sistema como um todo.

Muitos dos problemas observados no sistema do edifício do estudo de caso não são aceitáveis em nenhum sistema, e prejudicam a imagem e a difusão do uso da energia solar. Isso se deve ao fato de que tais problemas, causados por falhas no projeto e na execução do sistema, passam a impressão de que todos os sistemas de aquecimento solar são ineficientes e não entregam, de fato, uma redução no consumo da energia auxiliar. Portanto, se faz necessário um controle mais rigoroso quanto a qualidade dos sistemas projetados e instalados.

Sendo o poder público o principal incentivador da difusão dos sistemas de aquecimento solar de água, dado à necessidade de redução do consumo de energia elétrica no horário de pico, o mesmo deveria elevar o nível das leis de incentivo da instalação dos sistemas, e passar a fiscalizar se, de fato, os sistemas atendem aos requisitos mínimos exigidos. Tal medida evitaria que o resultado das leis fosse a má aceitação dos sistemas de aquecimento solar pelos usuários finais, ao invés de fazer

com que os mesmos passassem a requerer a sua instalação, por si só, dado os seus benefícios econômicos e ambientais.

Principalmente na cidade de São Paulo, com o seu novo Código de Obras e Edificações (SÃO PAULO, 2017) que alterou alguns critérios em relação a Lei de 2007 (SÃO PAULO, 2007) e deixou mais a cargo do condomínio a decisão pela instalação de fato do sistema de aquecimento solar de água, é de fundamental importância que seja garantido o retorno do investimento e os benefícios ambientais para os seus usuários. Para tanto, é necessário garantir que os edifícios, conforme os critérios estabelecidos, sejam projetados adequadamente e que suas deficiências sejam minimizadas ao máximo. Com isso, é possível gerar um interesse na população pelos sistemas de aquecimento solar, e conseguir uma ampla utilização dos mesmos.

Já em relação às simulações, durante sua realização, foram definidos padrões de consumo de água quente baseados nos encontrados na revisão bibliográfica, no padrão de consumo da família do estudo de caso, e em três padrões alternativos. Em relação aos sistemas, as dificuldades encontradas, tanto ao final da revisão bibliográfica, como ao final do estudo de caso, são minimizadas e, com base em dados climáticos da cidade de São Paulo e em métodos de cálculo desenvolvidos por Duffie e Beckman, o desempenho dos sistemas em relação ao atendimento às demandas dos diferentes padrões de consumo foi avaliado.

Por meio da análise dos resultados das simulações, verifica-se que os hábitos de consumo de água quente, de fato, influenciam na economia de energia auxiliar proporcionado pelo sistema de aquecimento solar. Além disso, os resultados das simulações, com o sistema encontrado no estudo de caso, demonstram o impacto que os hábitos de consumo de uma unidade causam na economia de energia auxiliar em outra unidade, ou seja, nesse sistema, a economia de energia auxiliar não depende apenas dos hábitos da própria unidade e injustiças são causadas. Nos resultados das simulações do sistema encontrado na revisão bibliográfica não é encontrado o mesmo impacto entre unidades.

Quanto à produção, o sistema do estudo de caso se apresenta como o melhor no geral, porém, individualmente, o sistema encontrado na revisão bibliográfica apresenta uma maior produção em mais alternativas de padrão de consumo. Um adendo importante quanto à produção é que na maioria das alternativas obteve-se um valor de fração solar abaixo do mínimo requerido de 40%. Visto que o número de coletores solares foi dimensionado através de um guia de parametrização da lei em

vigor no momento do projeto e execução do edifício do estudo de caso (ABRAVA et al, 2009), essa também é uma questão a ser repensada pelo poder público, para a maior difusão dos sistemas.

Com o sistema “Solar coletivo com auxiliar de acumulação coletivo”, que é o sistema do edifício do estudo de caso, não é possível ter a individualização de todos os sistemas prediais, ou seja, da água, da eletricidade, do gás e da energia solar.

Portanto, com os resultados da revisão bibliográfica, do estudo de caso e das simulações, o sistema “Solar coletivo com acumulação privado e auxiliar instantâneo privado”, de fato, se apresentou como a solução para a lacuna da medição individualizada em sistemas de aquecimento solar. Este sistema foi o que mais atendeu aos requisitos e ao nível de produção. Entretanto, é necessário investir em melhorias para torna-lo ainda mais eficiente.

Com tal sistema, é possível desvincular a taxa condominial dos encargos individuais de cada unidade com sistemas prediais, como água, energia elétrica e energia auxiliar. Também é possível elevar o nível de conscientização dos usuários quanto aos benefícios ambientais e econômicos do sistema, e fazer com que os mesmos tenham total controle dos seus gastos com sistemas prediais. Em outras palavras, este sistema proporciona um nível aproximado de individualização que se tem em unidades unifamiliares, onde o seu padrão de consumo de água quente define a eficiência de seu sistema e, caso queiram, é possível muda-lo e obter diretamente mais ou menos economia de energia auxiliar para o aquecimento da água. Além disso, as medidas paliativas aplicadas no sistema, em relação ao problema de maiores perdas térmicas, se mostraram eficientes durante as simulações, minimizando tal ponto negativo deste sistema.

Outros estudos devem ser realizados tendo em vista as demais questões relativas aos sistemas de aquecimento solar de água, que não apenas a individualização das utilidades que envolvem o mesmo. Estudos voltados à área que o sistema, “Solar coletivo com acumulação privado e auxiliar instantâneo privado”, ocupará nas unidades privativas e estudos voltados ao período de retorno do investimento no mesmo, possuirão grande valor na difusão da utilização de sistemas de aquecimento solar de água.

Mas, no momento atual, o fator que pode auxiliar significativamente na difusão dos sistemas de aquecimento solar de água, ou seja, estimularia na população o desejo em se ter tal sistema, seria a divisão mais justa do fator solar, da energia auxiliar e da

água, e o sistema que melhor atende à esses requisitos, no momento, é o sistema “Solar coletivo com acumulação privado e auxiliar instantâneo privado”.

REFERÊNCIAS

ABREU, Fábio Viana; COSTA FILHO, Manoel Antônio Fonseca; SOUZA, Mauro Carlos Lopes. **Biogás de aterros sanitários para geração de energia renovável e limpa - um estudo de viabilidade técnica e econômica**. In: IX Congresso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica (CIBIM). 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas da Energia Solar**. Brasília, 2017a. Disponível em: < [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar(3).pdf) >. Acesso em: 16 set. 2017.

_____. **Informações Gerenciais**. Brasília, 2017b. Disponível em: < [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar(3).pdf) >. Acesso em: 16 set. 2017.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS INC (ASHRAE) **90.2. Energy-Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings**. Atlanta, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15569: Sistemas de aquecimento solar de circuito aberto**. Rio de Janeiro, fev. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO et al (ABRAVA). **Curso: Projetista de sistema de aquecimento solar**. São Paulo, 2008a. Disponível em: <<http://abrava.com.br/?p=5489>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

_____. **PAC SOLAR: O que o aquecimento solar pode fazer pelo Brasil**. Brasília, 2008b. Disponível em: < <http://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-temporarias/especiais/53a-legislatura-encerradas/PL063003/controle-tramitacao-e-notas-taquigraficas/ap-12-08-08-carlos-faria-pac-solar1> >. Acesso em: 26 out. 2018.

_____. **Programa e capacitação em aquecimento solar. Curso para capacitação em aquecimento solar**. São Paulo, 2010. Apresentação.

_____. **Certificasol**. São Paulo, 2015. Disponível em: <<https://dasolabrava.wixsite.com/certificasol>>. Acesso em: 26 out. 2018.

_____. **Guia de parametrização da lei solar de São Paulo**. São Paulo, 2009.

BERMANN, Célio. **O desafio das energias renováveis: um debate sobre as políticas de inovação**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BESSA, Vanessa MT; PRADO, Racine TA. **Reduction of carbon dioxide emissions by solar water heating systems and passive technologies in social housing**. Energy Policy, v. 83, p. 138-150, 2015.

BRASIL. Lei n.º 13.312, de 12 de julho de 2016. **Diário Oficial**, Brasília, DF, 12 jul. 2016 (ed. extra). 2016. Disponível em:

<https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/l13312.htm>. Acesso em: 21 out. 2018.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 5 anos (2016-2020)**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 2015.

CAFÉ, C. F. **Energia solar em habitações do programa minha casa minha vida**. Fórum Clima. Paraná, [201-]

CALISE, Francesco et al. **Dynamic simulation of a novel high-temperature solar trigeneration system based on concentrating photovoltaic/thermal collectors**. Energy, v. 61, p. 72-86, 2013.

CARVALHO, A. R. **Evolução do uso de energia solar: estudo comparativo entre Israel e Brasil**. 2010. 73 p. Monografia (Pós-Graduação) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/4537/1/TCC_Evolu%C3%A7%C3%A3o%20do%20uso%20de%20energia%20solar%3A%20estudo%20comparativo%20entre%20Israel%20e%20Brasil>. Acesso em: 26 out. 2018

CARVALHO, W. F. **Medição individualizada de água em apartamentos**. Monografia (Especialização em Construção Civil)–Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

CHOW, T. T. et al. **Potential application of a centralized solar water-heating system for a high-rise residential building in Hong Kong**. Applied Energy, v. 83, n. 1, p. 42-54, 2006.

CHOW, T. T.; HE, W.; JI, J. **An experimental study of facade-integrated photovoltaic/water-heating system**. Applied Thermal Engineering, v. 27, n. 1, p. 37-45, 2007.

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.

COMPANHIA DE GÁS DE SÃO PAULO (COMGÁS). **Sistemas de Aquecimento de Água para Edifícios através da associação Energia Solar e Gás Natural**. São Paulo, 2011.

COSTA, Ricardo Cunha da; PRATES, Cláudia Pimentel Trindade. **O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado**. 2005.

DA MOTTA, Ronaldo Seroa. **A política nacional sobre mudança do clima: aspectos regulatórios e de governança**. MUDANÇA DO CLIMA NO BRASIL, p. 31, 2011.

DUFFIE, John A.; BECKMAN, William A. **Solar engineering of thermal processes**. John Willey & Sons, New York, 1980.

EUROPEAN GUIDELINES WORKING GROUP et al. **European technical guidelines for the prevention, control and investigation, of infections caused by Legionella species**. 2017.

FADIGAS, Eliane Aparecida Faria Amaral. **Banco de dados radiação solar**. Mensagem pessoal. Mensagem recebida por: <cristina.cardosopimenta@gmail.com> em 16 mar. 2018.

FEDRIGO, Natália Sens; GHISI, Enedir; LAMBERTS, Roberto. **Usos finais de energia elétrica no setor residencial brasileiro**. ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 10, p. 367-376, 2009.

FREITAS, Ailton de. **Da falta de estrutura fez-se a ‘crise do apagão’ no Brasil do início do século XXI**. O Globo. Rio de Janeiro, 17 mai. 2017. Disponível em: <<http://acervo.oglobo.globo.com/fatos-historicos/da-falta-de-estrutura-fez-se-crise-do-apagao-no-brasil-do-inicio-do-seculo-xxi-9396417>>. Acesso em: 02 out. 2017.

FURUNDZIC, A. Krstic; KOSORIC, V.; GOLIC, K. **Potential for reduction of CO2 emissions by integration of solar water heating systems on student dormitories through building refurbishment**. Sustainable Cities and Society, v. 2, n. 1, p. 50-62, 2012.

GOLIĆ, K.; KOSORIĆ, V.; FURUNDŽIĆ, A. Krstić. **General model of solar water heating system integration in residential building refurbishment—Potential energy savings and environmental impact**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 15, n. 3, p. 1533-1544, 2011.

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.

HIRSHBERG, Alan; SCHOEN, Richard. **Barriers to the widespread utilization of residential solar energy: the prospects for solar energy in the US Housing Industry**. Policy Sciences, v. 5, n. 4, p. 453-468, 1974.

HO, Denny Anderson; ITO, Eric Ayao. **Projeto e Construção de Aquecedor Solar com Concentrador**. 2011.

HORDY, Nathan et al. **High temperature and long-term stability of carbon nanotube nanofluids for direct absorption solar thermal collectors**. Solar Energy, v. 105, p. 82-90, 2014.

HYDRA. **Polo Hybrid**. Disponível em: Hydra-Corona: <<http://www.hydra-corona.com.br/produtos/4/polo-hybrid>>. Acesso em: 03 nov. 2017.

ILHA, MS de O.; GONÇALVES, O. M.; KAVASSAKI, Y. **Sistemas prediais de água quente**. Texto técnico, EPUSP, Universidade de São Paulo, 1994.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de dados climatológicos**. Brasília, 2017. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/porta/>>. Acesso em: 16 set. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Programa brasileira de etiquetagem – coletor solar aplicação banho e piscina.** Brasília, 2017a. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/coletores-solares-banho-e-piscina.pdf>>. Acesso em: 12 mai. 2017.

_____. **Programa brasileira de etiquetagem – reservatórios térmicos de alta e baixa pressão.** Brasília, 2017b. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/coletores-solares.asp>>. Acesso em: 12 mai. 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World energy balances: Overview.** France, 2017. Disponível em: <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyBalances2017Overview.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2018.

JOVANOVIĆ, Marina et al. **Sustainability estimation of energy system options that use gas and renewable resources for domestic hot water production.** Energy, v. 36, n. 4, p. 2169-2175, 2011.

KULKARNI, Govind N.; KEDARE, Shireesh B.; BANDYOPADHYAY, Santanu. **Optimization of solar water heating systems through water replenishment.** Energy Conversion and Management, v. 50, n. 3, p. 837-846, 2009.

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.

LORENZETTI S. A. **Duo Shower.** Disponível em: <http://www.lorenzetti.com.br/pt/Detalhes_Produto.aspx?id=1125>. Acesso em: 03 nov. 2017

LU, Lin; LIU, Zhen-Hua; XIAO, Hong-Sheng. **Thermal performance of an open thermosyphon using nanofluids for high-temperature evacuated tubular solar collectors: Part 1: Indoor experiment.** Solar energy, v. 85, n. 2, p. 379-387, 2011.

MARIOTONI, C. A., & G. R. I. **Método simplificado para o dimensionamento do volume de água quente focando sistemas de aquecimento solar dedicados ao banho.** Artigo Científico. Campinas, 2007. Disponível em: <<http://www.cricyt.edu.ar/lahv/asades/averma/2007/art10-2.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2016.

MATHYS, Werner et al. **Occurrence of Legionella in hot water systems of single-family residences in suburbs of two German cities with special reference to solar and district heating.** International journal of hygiene and environmental health, v. 211, n. 1-2, p. 179-185, 2008.

MCKENZIE, D. R. et al. **Low emittance coatings for high temperature solar collectors.** In: **Optical Materials and Process Technology for Energy Efficiency and Solar Applications.** International Society for Optics and Photonics, 1983. p. 166-175.

MENDONÇA, V. B. **Estudo da problemática da aplicação de coletores solares para aquecimento de água, no segmento residencial de alto padrão, com base em escalas de projeto arquitetônico e dimensões de planejamento.** 2009. 192 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MENEZES, Mayara Beuttenmuller Castro de et al. **Aproveitamento dos efluentes domésticos para geração de energia em condomínios residenciais de baixa renda.** 2016.

NASPOLINI, Helena F.; MILITÃO, H. S. G.; RÜTHER, R. **The role and benefits of solar water heating in the energy demands of low-income dwellings in Brazil.** Energy Conversion and Management, v. 51, n. 12, p. 2835-2845, 2010.

NEJO, M. **Sistema de aquecimento solar com medição individualizada de água em edifícios residenciais.** 2012.

NOBRE, Carlos A. **Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país.** Parcerias estratégicas, v. 6, n. 12, p. 239-258, 2010.

NUNES, C. F. **Usinas solares transformando luz solar em eletricidade.** 2012.

PAPAKOSTAS, K. T.; PAPAGEORGIOU, N. E.; SOTIROPOULOS, B. A. **Residential hot water use patterns in Greece.** Solar Energy, v. 54, n. 6, p. 369-374, 1995.

PEREIRA, Enio Bueno; COLLE, Sérgio. **A energia que vem do Sol.** Ciência Hoje, v. 22, n. 130, p. 24-35, 1997.

PERES, Alberto Renner Bueno; OLIVEIRA, L. H. **Avaliação durante operação de sistemas de medição individualizada de água em edifícios residenciais.** Encontro Nacional do Ambiente Construído, 2006.

PINI. **Aquecimento solar de água.** 2008. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/88/aquecimento-solar-de-agua-281344-1.aspx>>. Acesso em: 31 mai. 2017.

_____. **Impulsionados por novas legislações, sistemas de aquecimento solar de água ganham espaço no mercado e se integram à arquitetura das novas construções.** 2009. Disponível em: < <http://www.au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/189/impulsionados-por-novas-legislacoes-sistemas-de-aquecimento-solar-de-agua-158191-1.aspx> >. Acesso em: 31 mai. 2017

PINIWEB. **CDHU lança termo de referência para aquisição de sistemas de aquecimento solar.** 2012. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/tecnologia-materiais/cdhu-lanca-termo-de-referencia-para-aquisicao-de-sistemas-de-254358-1.aspx>>. Acesso em: 31 mai. 2017.

PIRES¹, F. M., & DE CARVALHO JÚNIOR, L. C. **A ESTRATÉGIA AMBIENTAL COMO ELEMENTO COMPETITIVO DE EMPRESAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL ATUANTES EM FLORIANÓPOLIS.** 2008. II Encontro de Economia Catarinense

PORTAL SOLAR. **Sistema de Aquecimento Solar**. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/sistema-de-aquecimento-solar.html>>. Acesso em: 26 set. 2017.

PRADO, Racine TA; GONÇALVES, Orestes M. **Water heating through electric shower and energy demand**. Energy and Buildings, v. 29, n. 1, p. 77-82, 1998.

PROCEL. **Energia Solar para aquecimento de água no Brasil-Contribuições da Eletrobras Procel e Parceiros**. Eletrobras, 2012.

REN21 et al. **Renewables 2017: Global status report**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 72, p. 1065-1080, 2017.

RIBEIRO, Wagner Costa. **Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil**. Parcerias estratégicas, v. 13, n. 27, p. 297-322, 2010.

RODRIGUES, Délcio; MATAJS, R. **Introdução ao Sistema de Aquecimento Solar**. Vitae Civilis, Ekos Brasil, São Paulo, 2010.

RODRÍGUEZ-HIDALGO, María del Carmen et al. **Domestic hot water consumption vs. solar thermal energy storage: The optimum size of the storage tank**. Applied Energy, v. 97, p. 897-906, 2012.

SABESP. **NTS 181 - Dimensionamento do ramal predial de água, cavalete e hidrômetro - Primeira ligação**. São Paulo, 2012.

SÃO PAULO. Câmara Municipal de São Paulo. **Lei nº 14459 de 03/07/2007**. Diário Oficial da Cidade de São Paulo, nº 121, de 4 de julho de 2007.

SÃO PAULO. Câmara Municipal de São Paulo. **Lei nº 16642 de 09/05/2017**. Diário Oficial da Cidade de São Paulo, nº 128, de 8 de julho de 2017.

SCHMIDT, T.; MANGOLD, D.; MÜLLER-STEINHAGEN, H. **Central solar heating plants with seasonal storage in Germany**. Solar energy, v. 76, n. 1-3, p. 165-174, 2004.

SEBRAE. **Ideias de negócio: Fábrica de aquecedor solar**. Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-uma-fabrica-de-aquecedor-solar,e9197a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD>>. Acesso em: 31 mai. 2017.

SENAI. **Instalação de aquecedor solar**. Disponível em: <<https://construcaocivil.sp.senai.br/curso/54738/111/instalacao-de-aquecedor-solar>>. Acesso em: 31 mai. 2017.

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.

SHUKLA, Ruchi et al. **Recent advances in the solar water heating systems: A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 19, p. 173-190, 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.

SOARES, Renato Martelli; RODRIGUES, Délcio. **Políticas Públicas de incentivo ao uso de sistemas de aquecimento solar no Brasil: acompanhamento das leis aprovadas e dos projetos de lei em tramitação**. Cidades Solares, 2010.

SOLARGIS. **SolarGis**. Disponível em: <<http://solargis.com/assets/graphic/free-map/GHI/Solargis-World-GHI-solar-resource-map-en.png>>. Acesso em: 28 mar. 2018.

STUART, Mary W. **An assessment of solar hot water heating in the Washington, DC area: Implications for local utilities**. *Energy*, v. 5, n. 4, p. 331-342, 1980.

TELHANORTE. (2017). **Placa coletora de alumínio para aquecedor solar**. Disponível em: <http://www.telhanorte.com.br/placa-coletora-de-aluminio-para-aquecedor-solar-200x100cm-vertical-ouro-fino-385158/p?idsku=385158&gclid=CjwKEAjw07nJBRDG_tvshEfHhWQsJABRcE-ZBg7qx1waqcM4yH0Cv4W2R896JnP6j5FabuXDwdq5EBoCy9fw_wcB>. Acesso em: 31 mai. 2017.

UNITED KINGDOM. Health and Safety Executive. **What is legionnaires' disease?** Disponível em: <<http://www.hse.gov.uk/legionnaires/what-is.htm>>. Acesso em: 19 out. 2017.

UNIVERSIDADE DO SOL. **Aquecimento solar de água: técnicas, práticas e aplicações**. Disponível em: <<http://www.universidadedosol.org.br/inscreva-se/>>. Acesso em: 31 mai. 2017.

VEERABOINA, Punnaiah; RATNAM, G. Yesu. **Analysis of the opportunities and challenges of solar water heating system (SWHS) in India: Estimates from the energy audit surveys & review**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n. 1, p. 668-676, 2012.

VEIGA, E., & ROSSINI, F. **210 mil pessoas trocam casa por prédio em 5 anos e 1/3 de SP vive em condomínio**. O Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,210-mil-pessoas-trocam-casa-por-predio-em-5-anos-e-13-de-sp-vive-em-condominio,1534756>>. Acesso em: 27 jul. 2014.

VINE, Edward; DIAMOND, Rick; SZYDLOWSKI, Rich. **Domestic hot water consumption in four low-income apartment buildings**. *Energy*, v. 12, n. 6, p. 459-467, 1987.

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.

WANG, R. Z.; ZHAI, X. Q. **Development of solar thermal technologies in China**. *Energy*, v. 35, n. 11, p. 4407-4416, 2010.

WGSOL. **História do aquecimento solar.** Disponível em: <<http://wgsol.com.br/historia-do-aquecimento-solar/>>. Acesso em: 26 set. 2017.

WOLF, D. et al. **A central solar domestic hot water system. Performance and economic analysis.** Energy, v. 5, n. 2, p. 191-205, 1980.

XIE, Hui et al. **Review of solar obligations in China.** Renewable and sustainable energy reviews, v. 16, n. 1, p. 113-122, 2012.

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.

ŽANDECKIS, Aivars et al. **Solar and pellet combisystem for apartment buildings: Heat losses and efficiency improvements of the pellet boiler.** Applied energy, v. 101, p. 244-252, 2013.

APÊNDICE A – Resultados das simulações - Gráficos

Gráfico 19 – Demanda de energia auxiliar para o edifício como um todo obtida na primeira simulação

Fonte: Autor

Gráfico 20 – Demanda de energia auxiliar para uma única unidade, seguindo os diversos padrões de consumo, obtida na primeira simulação

Fonte: Autor

Gráfico 21 – Demanda de energia auxiliar para o edifício como um todo obtida na segunda simulação

Fonte: Autor

Gráfico 22 – Demanda de energia auxiliar para uma única unidade, seguindo os diversos padrões de consumo, obtida na segunda simulação

Fonte: Autor

Gráfico 23 – Demanda de energia auxiliar para o edifício como um todo obtida na terceira simulação

Fonte: Autor

Gráfico 24 – Demanda de energia auxiliar para uma única unidade, seguindo os diversos padrões de consumo, obtida na terceira simulação

Fonte: Autor

Gráfico 25 – Demanda de energia auxiliar para o edifício como um todo obtida na quarta simulação

Fonte: Autor

Gráfico 26 – Demanda de energia auxiliar para uma única unidade, seguindo os diversos padrões de consumo, obtida na quarta simulação

Fonte: Autor

Gráfico 27 – Demanda de energia auxiliar para o edifício como um todo obtida na quinta simulação

Fonte: Autor

Gráfico 28 – Demanda de energia auxiliar para uma única unidade, seguindo os diversos padrões de consumo, obtida na quinta simulação

Fonte: Autor

Gráfico 29 – Demanda de energia auxiliar para o edifício como um todo obtida na sexta simulação

Fonte: Autor

Gráfico 30 – Demanda de energia auxiliar para uma única unidade, seguindo os diversos padrões de consumo, obtida na sexta simulação

Fonte: Autor

Gráfico 31 – Demanda de energia auxiliar para uma única unidade, seguindo os diversos padrões de consumo, obtida na sétima simulação

Fonte: Autor