**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO - FAU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

TARSILA MIYAZATO

**“Integração do Sistema de Aquecimento Solar (SAS)
ao projeto de edificações residenciais”.**

**São Paulo
2012**

EXEMPLAR REVISADO E ALTERADO EM RELAÇÃO À VERSÃO ORIGINAL, SOB
RESPONSABILIDADE DO AUTOR E ANUÊNCIA DO ORIENTADOR.

O original se encontra disponível na sede do programa

São Paulo, 07 de maio de 2012.

TARSILA MIYAZATO

**“Integração do Sistema de Aquecimento Solar (SAS)
ao projeto de edificações residenciais”.**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Arquitetura e Urbanismo da Universidade
de São Paulo para obtenção do Título de
Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Área de concentração:
Tecnologia da Arquitetura

Orientadora: Prof^a Dra. Claudia Terezinha
de Andrade Oliveira

São Paulo
2012

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.

E-MAIL AUTORA: tmiyazato@gmail.com

E-MAIL ORIENTADORA: ctao@usp.br

Miyazato, Tarsila
M685i Integração do sistema de aquecimento solar (SAS) ao projeto
de edificações residenciais / Tarsila Miyazato. --São Paulo, 2012.
193 p. : il.

Dissertação (Mestrado - Área de Concentração: Tecnologia da
Arquitetura) – FAUUSP.
Orientadora: Claudia Terezinha de Andrade Oliveira

1.Sistemas de aquecimento de água (Projeto – Desempenho)
2.Edifícios residenciais 3. Sistema de aquecimento solar
4.Programa de necessidades I.Título

CDU 712.25

*Dedico este trabalho a toda minha família,
em especial para Papai, Mamãe, Dithyan
e Bathyan (in memorian):
minha fonte de energia inesgotável.*

AGRADECIMENTOS

À minha família, pela paciência, compreensão e total apoio durante essa jornada do mestrado. Para Papai, Mamãe, Alexandre, Dithyan, Maristela, Marcello, Titio Gilberto e Tia Setsuko.

À minha orientadora Prof^a Dra. Claudia Terezinha de Andrade Oliveira, por acreditar no meu potencial e também, por servir de exemplo pela competente e inestimável orientação.

Ao Prof^o Dr. Adnei Melges de Andrade, por ensinar-me a enfrentar os desafios com otimismo e responsabilidade. Agradeço também, pelas sugestões e contribuições durante a banca examinadora da qualificação, em conjunto com a Prof^a Dra. Helena A. Ayoub Silva.

Aos profissionais Márcio Takata, Marcelo Mesquita, Renato Martelli, Marcelo J. Cunha, Décio A. L. Jr., Marcos A. Luciano, César W. M. Prieb, Jean V. Tremura, Luciana Carvalho, Prof^a Elizabeth Pereira e Andreas Luque, que gentilmente cederam informações sobre sistemas de aquecimento solar.

À querida amiga M^a Beatriz Barbosa, por incentivar-me a aprender e evoluir constantemente. Agradeço também pela preciosa contribuição no processo de revisão do texto.

A todos os amigos companheiros do mestrado, Luciana S., Diego Ferreto, João Tonucci, Maurício Massahiro, Vanice, Priscila Miura, Iara, Claudia Bastos, Antonio Fabiano, Tânia Abate, Aline Novais, Fernanda Pereira, Paulo Roberto, Ísis, Ana Limonge, Mônica Dulce, Regina Flores, Cláudio, Luciano Ferretti, Érika, Jorge Morteau, Diego Gonçalves, Rafael Ferreira, Juliane, Wanderlei, Renata Davi, pela troca de informações, apoio e solidariedade nos momentos de dificuldades.

Às minhas eternas orientadoras, Prof^a Emilia Falcão e Prof^a Rosane Battistelle, pelos ensinamentos durante a graduação e por acreditarem na realização dos meus sonhos.

Aos meus amigos Lucas S. Dias, Eduardo Souza e Umberto Violatto, pela contribuição nas ilustrações que, de maneira didática, facilitaram a compreensão das informações apresentadas.

Ao pessoal da equipe brasileira do SDE, pelos momentos de aprendizado, descontração e por ensinar-me o significado do trabalho coletivo. Em especial, Rubia, Cica, Letticia, Hugo, Miguel, Arthur, Yuri, Fê Antonio, Aline, Bruna Mayer, Felipe Finger, Guga, Victor, Edu Domingues, Eduardo Escobar, Daniel Mayer, Laís, Giovanni, Andriago, Bianca, Filipi, Ananda, Jú Albuquerque, Vinícius, Rômulo, Caique, Gregory, Rafael Stucchi, Patrícia Aguiar, Patrícia Lavieri, Pablo, Erik, André Montes, André Nobre, Gabriella, Jorge, Laís, prof^a Themis, prof^o Kós...

A todos os meus queridos amigos, pelo apoio e compreensão nos momentos de ausência. Em especial, Lili, Aninha, Kelly, Camilinha, Marina, M^a Fernanda, Paula, Lú, Diogo, Jardiel, Erick, Ana Beatriz, Bruno Gabriel, Osmo, Fê Borges, Jú Palmieri, Elaise, Leo Matsumoto, Rulian, Marília, Fernanda Fabrini, Marco Antonio, Romina, Carol Marquezim, Carol Vendramento., Licínia, Diego Caparroz, Ana M^a Baruffi, Aline Santos....

Aos amigos da Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de São Paulo pela amizade, apoio e oportunidade de aprimorar-me profissionalmente. Em especial, Karen, Jamile, Claudia T., Camila, Ana Laura, Rosélia, Alejandra, Tiago G., Sun Alex, Maria Rosa, Rodrigo, Paulo M., Maria...

Aos funcionários do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE/USP), da Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo (FUSP), da Comissão de Cooperação Internacional (CCint) e da Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAUUSP). Em especial, Paulo Dantas, Toninho, Wildes, Viviane, Vera Maria, Beth, Francisco, Agnelo, Prof^o Burani, Rosana, Marilena, Gláucia, Cris, Irani, Clélia Maciel, Janis, Jaqueline, Guilherme, Clayton, Pedro Ono, Isa...

E por fim, a Deus, pela oportunidade de viver essa experiência única.

"As pessoas aprendem as coisas fazendo; você até pode achar que sabe, mas só terá certeza quando tentar."

Sófocles

"(...) Pequenos passos podem não fazer muita diferença numa curta jornada, mas para a longa jornada da vida são capazes de colocar você num lugar completamente diferente (...)."

James Hunter

RESUMO

MIYAZATO, T. **Integração do Sistema de Aquecimento Solar (SAS) ao projeto de edificações residenciais**. 2012. 193f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

O objetivo desta dissertação é propor diretrizes de projeto para integração do sistema de aquecimento solar (SAS) em edificações residenciais com base na abordagem do desempenho. O trabalho restringe-se ao sistema de água para abastecimento doméstico, composto por coletores planos fechados sem concentração. A investigação teórica é fundamentada na bibliografia sobre o SAS no contexto brasileiro e internacional, sendo descritas as características gerais do sistema e seus componentes. Entrevistas realizadas com profissionais atuantes na área e participações em treinamentos técnicos permitiram a coleta de dados sobre projeto, dimensionamento e instalação, além da identificação das causas do baixo rendimento e das falhas recorrentes durante o uso, operação e manutenção do SAS. São apresentados os requisitos e critérios de desempenho para o projeto do SAS com base na articulação dos conteúdos de documentos técnicos, normas, recomendações de fabricantes, profissionais projetistas e centros de pesquisa sobre o tema. Esses dados foram organizados tendo como referência de escopo da norma NBR 15.575/10, destacando os requisitos relacionados: (a) à segurança estrutural, (b) à segurança contra incêndio, (c) à segurança no uso e operação, (d) à estanqueidade, (e) ao desempenho acústico, (f) à saúde, higiene e qualidade da água, (g) à funcionalidade e acessibilidade, (h) ao conforto tátil e antropodinâmico, (i) à durabilidade e (j) à manutenibilidade. A interpretação dos requisitos e critérios de desempenho, segundo a lógica do programa de necessidades, permitiu a hierarquização das necessidades dos usuários, priorizando os atributos de projeto que contribuem para o maior rendimento do sistema e para a segurança no uso, operação e manutenção do SAS. As principais diretrizes de projeto consideram os requisitos de desempenho relacionados (a) às condicionantes locais quanto à orientação solar, latitude e sombreamento (b) ao posicionamento dos elementos e componentes construtivos; (c) ao dimensionamento e arranjos espaciais da edificação. Esta pesquisa buscou fornecer elementos técnicos para o planejamento

do SAS desde as fases iniciais do projeto de modo contribuir para o melhor desempenho geral do sistema.

Palavras-chave: Sistema de aquecimento solar. Projeto. Desempenho. Programa de necessidades. Edifícios residenciais.

ABSTRACT

MIYAZATO, T. **Integration of Solar Heating System (SHS) to the design of residential buildings**. 2012. 193 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

The objective is to propose design guidelines for integrating solar heating system (SHS) in residential buildings based on the performance approach. The work is restricted to the water system for domestic supply, composed of flat plate collectors closed without concentration. The research is based on the theoretical literature on the SHS in the Brazilian and international contexts, and describes the general characteristics of the system and presents an overview of incentive programs and quality control of SHS in Brazil. Interviews with professionals of the area and participation in technical training allowed the collection of data on design, sizing and installation, in addition to identifying the causes of low performance and recurring failures during use, operation and maintenance of SHS. The requirements and performance criteria for the design of SHS are presented, based on the articulation of the contents of technical documents, standards, recommendations of manufacturers, professional designers and research on the subject. These data were organized with reference to the scope of the NBR 15.575/10, highlighting the related requirements: (a) the structural safety, (b) fire safety, (c) the safe use and operation, (d) tightness, (e) the acoustic performance, (f) health, hygiene and water quality, (g) functionality and accessibility, (h) comfort and tactile anthropometric, (i) durability and (j) maintainability. The interpretation of the requirements and performance criteria, according to the logic of the program, allowed the hierarchy of users' needs, prioritizing the design attributes that contribute to greater system performance and safety in the usage, operation and maintenance of SAS. The main design guidelines consider the performance requirements relating to (a) the constraints on the local solar radiation, temperature and shading, (b) the positioning of elements and building components, (c) the design and spatial arrangement of the building. This study aimed to provide technical information for planning the SHS from the early stages of the project in order to contribute to better overall system performance.

Keywords: Solar heating system. Design. Performance. Program needs. Residential buildings.

Integração do Sistema de Aquecimento Solar (SAS) ao projeto de edificações residenciais.

LISTA DAS FIGURAS

Figura 1.1 – Países participantes da pesquisa realizada pela <i>International Energy Agency</i> (IEA).....	6
Figura 1.2 – Estrutura do método de trabalho desenvolvido na pesquisa.....	13
Figura 2.1 - Cronologia da evolução da tecnologia termossolar no Brasil.....	20
Figura 2.2 – Desenho esquemático de composição do SAS.	26
Figura 2.3 – (a) Respiro e (b) Conjunto de válvulas, respectivamente.....	30
Figura 2.4 – Esquema simplificado de um sistema ativo ou de circulação forçada..	32
Figura 2.5 - Esquema de funcionamento de um sistema termossifão.....	33
Figura 2.6 - Esquema de funcionamento de um sistema ativo direto.....	35
Figura 2.7– Esquema simplificado de um sistema passivo indireto.	36
Figura 2.8 – Componentes básicos do coletor solar plano fechado.....	40
Figura 2.9 - Modelos de placas absorvedoras e aletas.	42
Figuras 2.10 e 2.11 – Exemplos de coletores solares abertos.....	44
Figura 2.12 - Componentes dos coletores solares com tubos evacuados.	45
Figura 2.13 – Pannel solar termodinâmico.	47
Figura 2.14 - Coletor vertical e horizontal.....	48
Figura 2.15 - Equilíbrio hidráulico de baterias de coletores.....	50
Figura 2.16.– Componentes básicos de um reservatório térmico.	51
Figura 2.17 - Disposição vertical ou horizontal do reservatório.....	53
Figura 2.18 - Associação em paralelo de dois e de três reservatórios térmicos.....	54
Figura 2.19 - Associação em série de dois reservatórios térmicos.	55
Figura 2.20 – Desenho esquemático de um sistema indireto.....	56
Figura 2.21 – Esquema simplificado de sistema pressurizado.....	65
Figura 4.1- Relação dos valores de Hershberger (1999) centrados no usuário.	99
Figura 4.2 - Sombreamento causado pela vegetação existente.....	108
Figura 4.3 - A área coletora voltada para a fachada sul.....	108
Figura 4.4 - Coletores solares danificados pelo congelamento da água.	108
Figura 4.5 - Dificuldade de acesso aos equipamentos de SAS.....	108
Figura 4.6 – Área coletora assimétrica em relação à cobertura.	109
Figura 4.7 – Área coletora ocupando toda área disponível da cobertura.	109
Figura 4.8 – Coletores solares sobrepostos na cobertura.....	109
Figura 4.9 – Coletor posicionado descentralizado a área disponível na cobertura.	109
Figura 4.10 – Área coletora instalada independente da edificação.....	110

Figura 4.11 – Declinação magnética.	117
Figura 4.12 - Detalhe do anteparo utilizado para simular o sombreamento.....	119
Figura 5.1– Desenho esquemático para identificação do traçado de sombras.....	127
Figura 5.2 – Opções de diferentes tipologias dentro do volume definido pelo envelope solar.....	128
Figura 5.3 – Construção do envelope solar - ângulos de obstrução.....	129
Figura 5.4 – Construção do envelope solar - ângulos de altura solar.....	129
Figura 5.5 – Desenho esquemático do estudo paisagístico do lote.....	130
Figura 5.6 – Desenho esquemático de elementos arquitetônicos e equipamentos sob a cobertura plana.....	131
Figura 5.7 – Distância mínima entre coletores planos fechados.....	132
Figura 5.8 – Diferentes configurações de cobertura que permitem o posicionamento adequado dos coletores solares.	134
Figuras 5.9 – Telhado com inclinação superior a 15º.	135
Figura 5.10 – Platibanda projetada de modo a ocultar o coletor solar.....	135
Figuras 5.11 – Exemplo de instalação de SAS com boa acessibilidade aos equipamentos.....	138
Figura 5.12 – Escada escamoteável instalada no laboratório de energia solar	139
Figura 5.13 – Instalação dos coletores associadas à forma.	140
Figura 5.14 – Exemplo de volumetria da edificação conforme inclinação do telhado.	140
Figura 5.15 – Dimensões recomendáveis para o funcionamento do sistema termossifão.....	141
Figura 5.16 – Exemplos de instalações de área coletora proporcional ao espaço disponível.....	141
Figura 5.17 – Tipos de inserção do coletor solar na edificação.....	142
Figura 5.18 – Área coletora posicionada de modo centralizado na cobertura.	142

LISTA DOS GRÁFICOS

Gráfico 4.1 – Avaliação técnica dos coletores solares.....	112
Gráfico 4.2 – Avaliação técnica dos reservatórios térmicos.....	112

LISTA DOS QUADROS

Quadro 1.1 – Relação dos benefícios e impactos positivos para os setores envolvidos do SAS.....	6
Quadro 2.1 – Classificação do SAS conforme NBR 15.569 (ABNT, 2008).....	27
Quadro 2.2 – Classificação do SAS conforme IDAE (2009).....	27
Quadro 2.3 – Tipos de armazenamento do SAS.....	29
Quadro 2.4 – Análise comparativa dos sistemas de circulação de fluido de trabalho do SAS.....	31
Quadro 2.5 – Tipos de instalação de reservatório térmico em sistema passivo.....	34
Quadro 2.6.– Análise comparativa dos sistemas de transferência de calor de SAS.	35
Quadro 2.7 – Tipos de sistema de distribuição de água quente.....	37
Quadro 2.8 – Tipos de coletores solares.....	39
Quadro 2.9 – Aspectos positivos e negativos da utilização de coletores planos fechados.	40
Quadro 2.10 – Materiais utilizados na produção de caixas externas.	41
Quadro 2.11 – Tipos de cobertura.....	43
Quadro 2.12 – Aspectos positivos e negativos da utilização de coletores planos abertos.....	44
Quadro 2.13 – Aspectos positivos e negativos da utilização de coletores com tubos evacuados.	46
Quadro 2.14 – Aspectos positivos e negativos da utilização de solares termodinâmicos.	47
Quadro 2.15 - Características das associações série e paralelos para coletores solares.	50
Quadro 2.16 – Classificação dos tipos de reservatórios térmicos.....	51
Quadro 2.17 – Tipos de trocadores de calor do SAS.....	57
Quadro 2.18 – Relação dos aspectos positivos e negativos dos tipos de trocadores de calor.....	57
Quadro 2.19 – Relação de válvulas e registros e suas respectivas funções.....	59
Quadro 2.20 – Tipos de sistemas de proteção anticongelamento.....	62
Quadro 3.1 – Classes de requisitos de desempenho de SAS.....	70
Quadro 3.2 – Critérios referentes à funcionalidade e acessibilidade.....	86

Quadro 3.3 – Plano de atividades de manutenção preventiva de SAS.....	91
Quadro 3.4 – Critérios referentes à manutenibilidade.	92
Quadro 3.5 – Relação de componentes do SAS com as classes de requisito de desempenho.	94
Quadro 4.1 – Relação dos aspectos associados aos valores de Hershberger (1999) e as orientações de projeto de SAS.....	101
Quadro 4.2 – Documentação do projeto de SAS, conforme NBR 15.569 (ABNT, 2008).	105
Quadro 4.3 – Problemas decorrentes da implantação inadequada do SAS.....	108
Quadro 4.4 – Relação das variáveis a serem consideradas nos aspectos técnicos e financeiros.....	121
Quadro 5.1 – Soluções para a situação em que a área coletora está voltada para fachada sul.	133
Quadro 5.2 – Opções de localização para instalação do reservatório térmico.	136
Quadro 5.3 – Modelo de ficha técnica do projeto de SAS.	144

LISTA DAS TABELAS

Tabela 1.1 – Relação das barreiras e estratégias para implantação do SAS.	8
Tabela 1.2 – Relação das entrevistas realizadas para obtenção de dados.	14
Tabela 2.1 – Densidade da água de 0°C a 100°C.....	33
Tabela 2.3 – Relação de pressão de trabalho (metro de coluna d'água – m.c.a.) em função do material utilizado para fabricação do reservatório térmico.	52
Tabela 2.4 – Condutividade térmica dos materiais utilizados na fabricação dos tubos e conexões.	58
Tabela 2.5 – Tipos e características gerais de termopares.....	61
Tabela 2.6 – Classificação das vazões das duchas.	64
Tabela 3.1 – Critérios referentes à segurança estrutural.	73
Tabela 3.2 – Critérios referentes à segurança contra incêndio.	76
Tabela 3.3 – Tipos de retardantes de chama às poliuretanas.....	77
Tabela 3.4 – Critérios referentes à segurança no uso e operação.....	78
Tabela 3.5 – Critérios referentes à estanqueidade.....	80
Tabela 3.6 – Critérios referentes ao desempenho acústico.	82
Tabela 3.7 – Critérios referentes à saúde, higiene e qualidade da água.	83
Tabela 3.8 – Temperatura máxima na saída do equipamento de aquecimento.....	87
Tabela 3.9 – Critérios de desempenho referente ao conforto tátil e antropodinâmico.	88
Tabela 3.10 – Critérios de desempenho referente à durabilidade.....	90
Tabela 4.1 – Consumo de pontos de utilização de água quente.....	114
Tabela 4.2 – Relação das latitudes, ângulo de inclinação ideal e declinação magnética aplicados para as cidades capitais brasileiras.....	118
Tabela 5.1 – Fator k	132
Tabela 5.2 – Relação de dimensões aproximadas de reservatório térmico e coletor solar.	138

SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRASIP	Associação Brasileira de Engenharia de Sistemas Prediais
ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento
ABRINSTAL	Associação Brasileira pela Conformidade e Eficiência de Instalações
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CDHU	Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo
CDT	Controlador Digital de Temperatura
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CMAR	Controle de materiais de acabamento e de revestimento
CPVC	Poli (cloreto de vinila) clorado
CTE	<i>Código Técnico de la Edificación</i>
DASOL	Departamento Nacional de Aquecimento Solar
ELETROBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras S/A
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPDM	<i>Ethylene Propylene Diene Monomer</i> (tradução: Monômero Etileno-Propileno-Dieno)
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ESCO	<i>Energy Service Company</i>
FEM	Força eletromotriz
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GT-SOL	Grupo de Estudos em Energia Solar
HIS	Habitação de Interesse Social
IDAE	<i>Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IES	Instituição de Ensino Superior
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IT	Instrução Técnica
MDIC	Ministério da Indústria e do Comércio Exterior
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira

NAC	Níveis de Ruído Admissíveis
PBE	Programa de Etiquetagem
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
PNEf	Planejamento Energético Nacional
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROCEL EDIFICA	Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações
PUC-MG	Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
QUALISOL BRASIL	Programa de Qualificação de Fornecedores
RAC	Requisitos de Avaliação de Conformidade
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
RTQ	Regulamento Técnico da Qualidade
SAS	Sistema de Aquecimento Solar
SPDA	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas
SUSHI	<i>Sustainable Social Housing Initiative</i>
TIR	Taxa Interna de Retorno
TRNSYS	<i>Transient System Simulation Program</i>
TRRF	Tempos Requeridos de Resistência ao Fogo
VLP	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1.1 INTRODUÇÃO	2
1.2 JUSTIFICATIVA	5
1.3 OBJETIVO	12
1.4 ABRANGÊNCIA DA PESQUISA	12
1.5 MÉTODO DE TRABALHO	12
1.5.1 Levantamento de dados	13
1.5.2 Sistematização das informações coletadas	15
1.5.3 Análise qualitativa das informações sistematizadas	16
1.5.4 Conclusões e Considerações Finais	16
1.6 ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS	16
2. O SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR (SAS)	20
2.1 BREVE HISTÓRICO SOBRE PROGRAMAS DE INCENTIVO E DE CONTROLE DA QUALIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DO SAS	20
2.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E OPERACIONAIS DOS COMPONENTES DO SAS	25
2.2.1 Classificação do SAS	26
2.2.1.1 Arranjo	28
2.2.1.2 Regime	29
2.2.1.3 Armazenamento	29
2.2.1.4 Alimentação	30
2.2.1.5 Alívio de pressão	30
2.2.1.6 Circulação	31
2.2.1.7 Transferência de calor	35
2.2.1.8 Distribuição de água quente	36
2.2.2 Coletores solares	38
2.2.2.1 Coletores planos fechados	39
2.2.2.2 Coletores planos abertos	44
2.2.2.3 Coletor com tubo evacuado	45
2.2.2.4 Painel solar termodinâmico	46
2.2.2.5 Fixação dos coletores solares	48
2.2.2.6 Disposição dos coletores solares	48
2.2.2.7 Associação hidráulica	49
2.2.3 Reservatório térmico	51

2.2.3.1 Disposição dos reservatórios térmicos	53
2.2.3.2 Associação hidráulica	54
2.2.4 Trocador de Calor	55
2.2.5 Sistema hidráulico	57
2.2.6 Sistema elétrico e de controle	60
2.2.7 Sistema de proteção anticongelamento	62
2.2.8 Sistema de anel de recirculação	63
2.2.9 Sistema pressurizado	64
2.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO 2	66
3. REQUISITOS DE DESEMPENHO PARA O SAS.	70
3.1 SEGURANÇA	72
3.1.1 Segurança estrutural	72
3.1.2 Segurança contra incêndio.....	75
3.1.3 Segurança no uso e operação	77
3.2 HABITABILIDADE	79
3.2.1 Estanqueidade	79
3.2.3 Desempenho acústico	81
3.2.5 Saúde, higiene e qualidade da água	82
3.2.6 Funcionalidade e acessibilidade	85
3.2.7 Conforto tátil e antropodinâmico	87
3.3 SUSTENTABILIDADE	88
3.3.1 Durabilidade	88
3.3.2 Manutenibilidade	92
3.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO 3	93
4. FATORES CONDICIONANTES PARA TOMADA DE DECISÃO NO PROCESSO DE PROJETO DO SAS.	98
4.1 EXIGÊNCIAS DO USUÁRIO E O PROGRAMA DE NECESSIDADES	98
4.2 VIABILIDADE TÉCNICA	105
4.2.1 Problemas decorrentes da implantação inadequada do SAS	107
4.2.2 Dimensionamento da demanda de água quente.....	113
4.2.2.1 Dimensionamento do volume de consumo de água quente.....	113
4.2.2.2 Dimensionamento do volume do reservatório de água quente.....	114
4.2.2.3 Dimensionamento da área coletora.....	115

4.2.3 Fatores condicionantes locais que interferem no posicionamento adequado dos componentes do SAS.	116
4.2.3.1 Latitude, inclinação e orientação.....	116
4.2.3.2 Sombreamento.....	118
4.3 VIABILIDADE ECONÔMICA	120
4.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO 4.....	124
5. DIRETRIZES PARA O PROJETO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR (SAS) EM EDIFICAÇÃO DE USO RESIDENCIAL.....	126
5.1 DIRETRIZES PROJETUAIS RELACIONADAS A ASPECTOS FÍSICOS E OPERACIONAIS.....	126
5.1.1 Sombreamento	126
5.1.2 Posicionamento inadequado dos componentes de SAS	132
5.1.2.1 Coletores solares voltados para fachada sul.	132
5.1.2.2 Inclinação dos coletores solares inferior a 15º.....	134
5.1.2.3 Instalação do reservatório térmico.	135
5.1.3 Inadequação na especificação de componentes.....	137
5.1.4. Falta de acessibilidade aos componentes do SAS.....	137
5.2 DIRETRIZES PROJETUAIS RELACIONADAS A ASPECTOS VISUAIS E ESTÉTICOS.....	139
5.2.1 Forma	139
5.2.2 Proporção	141
5.2.3 Inserção.....	142
5.2.4 Posição.....	142
5.2.5 Associação	143
5.3 ESPECIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DO SAS.....	143
5.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO 5.....	146
6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	150
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.	152
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	153
ANEXOS.....	162

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação parte da premissa de que o planejamento do sistema de aquecimento solar (SAS)¹ na fase inicial do processo de projeto de uma edificação, resulta na maximização do desempenho² desse sistema, considerando que as soluções construtivas sejam previamente compatibilizadas pelos responsáveis dos projetos de arquitetura, de estrutura, de instalações de hidráulica, de elétrica e de automação.

O tema proposto decorre das frequentes falhas ou do baixo rendimento do SAS nas edificações residenciais. Pesquisas recentes têm evidenciado que “a simples inserção do sistema de aquecimento de água solar não significa um bom aproveitamento desta fonte” (RAIMO, 2007, p. 39) ou mesmo que “muitos projetistas deixam o dimensionamento, instalação e assessoramento de SAS a cargo da indústria de aquecedores solares, postos de revenda ou até mesmo sob o julgamento do instalador” (RÍSPOLI, 2008, p. 2).

Como consequência, a elaboração do projeto de SAS restringe-se à aplicação de tabelas contendo a indicação da quantidade de coletores recomendados pelo fabricante em função do número de usuários e da quantidade de pontos de consumo de água quente na residência. Tal prática costuma produzir, inicialmente, resultados satisfatórios para projetos familiares típicos, já que se fundamenta na experiência adquirida pelos próprios fabricantes. Entretanto, nos casos de uso que sejam diferentes dos aqueles indicados pelas empresas e pela ABNT NBR 15.569 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008), a falta de dimensionamento apropriado resulta ou leva a um índice de falhas elevado. Além disso, “o super ou subdimensionamento de um SAS pode transformar-se em investimento inútil, não rentável ou até mesmo dispendioso” (BORGES, 2000, p. 1).

¹ Adota-se SAS para nomenclatura de sistema de aquecimento solar, conforme a ABNT NBR 15.569 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

² De acordo com a NBR 15.575 (ABNT, 2010), define-se “desempenho” como o comportamento em uso.

Tendo em vista a elaboração de um dimensionamento menos empírico de demanda de água quente, Lima (2003) propôs um modelo de otimização de projetos de sistema de aquecimento solar de água para uso doméstico em edificações residenciais unifamiliares a partir da realização de estudo de caso na cidade de São Paulo, considerando, simultaneamente, as características do local (azimute, irradiação solar, temperaturas ambientes) e do sistema (quantidade de água a ser aquecida, temperatura de armazenamento, inclinação do coletor solar) com o auxílio do programa de simulação *Transient System Simulation Program* (TRNSYS).

Seguindo essa mesma linha de pesquisa de desenvolvimento de modelos matemáticos para simulação de desempenho térmico e otimização de projetos de SAS, destacam-se os trabalhos de Borges (2000), Lafay (2005), Aita (2006), Siqueira (2009) e Souza (2009). Constatou-se, contudo, que esses trabalhos não tiveram como discussão central às questões relacionadas aos critérios de desempenho e o atendimento às necessidades do usuário, diferenciando-se do foco principal desta dissertação.

Outro ponto crítico a ser compreendido é o fato de que a instalação de SAS interfere na concepção dos produtos imobiliários. No Brasil, algumas cidades já possuem legislação específica que estabelece a obrigatoriedade do uso de SAS para determinadas edificações, dependendo de parâmetros específicos (tipologia da edificação, área mínima, categoria de uso).

Entretanto, face à inexistência de um repertório nacional consolidado e sistematizado sobre práticas projetuais desse tipo de sistema, os projetistas - sejam eles arquitetos ou engenheiros, os construtores e os fornecedores, enfrentam dificuldades para atender a essa nova exigência legal. Além disso, há o entrave de conciliar o espaço livre disponível na edificação com a área necessária para atender à demanda de água aquecida (FARIA, 2009).

Entre as ações orientadas à produção de referenciais aos projetistas destaca-se a iniciativa dos membros da Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA) em parceria com a Associação Brasileira de Engenharia de Sistemas Prediais (ABRASIP); e a Associação Brasileira pela

Conformidade e Eficiência de Instalações (ABRINSTAL), na elaboraram um documento intitulado de “Guia de Parametrização da Lei Solar de São Paulo” (ABRAVA et. al, 2009) para o setor residencial multifamiliar³. O principal objetivo desse trabalho foi oferecer aos profissionais da construção civil, uma metodologia simples e confiável de dimensionamento de SAS para atendimento ao Decreto Municipal nº 49.148 (SÃO PAULO, 2008) que regulamenta a Lei Municipal nº 14.459 (SÃO PAULO, 2007). Contudo, o modelo proposto sugere parâmetros genéricos de cálculo, sendo que situações específicas deverão ser realizadas por profissional habilitado. Além disso, há necessidade de se elaborar projetos detalhados de SAS visando, principalmente, a integração da arquitetura e do sistema hidráulico.

Outro trabalho que visa contribuir para melhoria da qualidade do SAS em edificações foi realizado pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG) em parceria com a ELETROBRAS. O trabalho teve como objetivo desenvolver um conjunto de estudos analíticos e metodológicos para avaliação das instalações em obras de grande porte na cidade de Belo Horizonte. Foram avaliadas tecnicamente 96 instalações de SAS em edificações residenciais multifamiliares de médio e alto padrão, caracterizadas por sistemas de circulação forçada. O método de trabalho consistiu na realização de visitas técnicas para aplicação de questionários técnico e comportamental junto aos funcionários e moradores dos edifícios, e também, no levantamento do projeto arquitetônico e do sistema hidráulico, incluindo o estado de conservação dos componentes do SAS, o aspecto de segurança, de acessibilidade e de sombreamento. Constatou-se como principal dificuldade o preenchimento do questionário comportamental devido à ausência de moradores ou síndico durante as visitas técnicas realizadas somente em horário comercial (ELETROBRAS, 2011a). A partir do resultado dessas avaliações de campo, Andrade (2009) desenvolveu uma metodologia de certificação para instalações de SAS de médio e porte com base nos indicadores de qualidade e nas simulações matemáticas, por meio da utilização do programa computacional *TRNSYS*.

³ O documento não considera o dimensionamento para habitações multifamiliares de interesse social (HIS).

Sprenger (2007) ressalta que o desempenho deste tipo de instalação deve proporcionar ao usuário o melhor conforto possível com o mínimo consumo de energia, ou seja, a economia obtida na conta de energia elétrica não deve prejudicar a qualidade do fornecimento de água quente.

Dessa forma, a contribuição técnica e tecnológica incorporada durante o processo de projeto de edificação deve ser capaz de mitigar as consequências das falhas que frequentemente têm sido detectadas e permitir o uso eficiente do potencial da energia solar para o aquecimento de água para uso doméstico, ao longo da vida útil projetada para o sistema.

1.2 JUSTIFICATIVA

No contexto apresentado, o tema proposto se justifica a partir de duas questões que norteiam a presente pesquisa e serão elucidadas a seguir:

1. O potencial brasileiro em utilizar a energia solar para aquecimento de água em edificações residenciais;
2. O SAS inserido na temática da eficiência energética⁴ em edificações residenciais.

A primeira diz respeito ao potencial que o Brasil possui para utilizar, em larga escala, energia solar no aquecimento de água nas edificações. Cabe destacar que o país apresenta valores de irradiação solar global incidente entre 4200 a 6700 kWh/m², muito superiores quando comparadas com alguns países que já possuem incentivos fiscais para disseminação do SAS (PEREIRA et al., 2006), tais como a Alemanha (900-1250 kWh/m²), a Espanha (1200-1850 kWh/m²) e a França (900-1650 kWh/m²)⁵. Entretanto, de acordo com pesquisa realizada pela *International Energy Agency* (IEA) envolvendo os 53 países destacados na Figura 1.1, o Brasil está classificado na 30^a posição em relação ao índice de penetração⁶ de mercado de aquecedores solares,

⁴ De acordo com Lamberts et al. (1997, p.14), o termo eficiência energética significa “obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Portanto um edifício é mais energeticamente eficiente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia”.

⁵ Dados referentes à irradiação solar de países europeus, consultar <http://www.satel-light.com/>.

⁶ Considerou-se no estudo da IEA que o índice de penetração de mercado corresponde a capacidade total de operação (kW_{th}) para cada 1.000 habitantes (hab.).

sendo que as primeiras colocações correspondem aos países como Chipre, Israel e Áustria, respectivamente (WEISS; MAUTHNER, 2010).

Figura 1.1 – Países participantes da pesquisa realizada pela *International Energy Agency* (IEA).
Fonte: WEISS; MAUTHNER, 2010, p.3.

Esse cenário tende a mudar significativamente, já que a meta estipulada pelo governo brasileiro é na ordem de 15 milhões de m² de coletores solares a serem implantados até o ano de 2015 (ÁVILA, 2011). De acordo com a pesquisa realizada pelo Departamento Nacional de Aquecimento Solar – DASOL, o Brasil atingiu no 1º semestre de 2011 uma área acumulada de 6.683.780 m². Essa pesquisa apontou também que o setor residencial correspondeu a 59% das vendas de coletores, seguido de 24% dos segmentos de indústria, comércio e serviços e 18% referente a programas habitacionais de interesse social (REVISTA SOL BRASIL, 2011c).

Para que tal meta seja alcançada no prazo de quatro anos é necessário que haja uma diversificação na aplicação do SAS nos diferentes segmentos. A expansão da sua utilização deve ser embasada em estudos e ações que proporcionem benefícios ambientais, sociais e econômicos. O quadro 1.1 resume a relação dos benefícios e impactos positivos que a adoção efetiva de SAS possa proporcionar aos setores envolvidos.

Quadro 1.1 – Relação dos benefícios e impactos positivos para os setores envolvidos do SAS.

Interessados	Benefícios e impactos positivos
Consumidor residencial	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução na conta mensal de energia, em torno de 30 a 50%, mantendo-se o mesmo nível de conforto.
Setor produtivo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução de custos operacionais; ▪ Aumento de eficiência e competitividade; ▪ Redução de impactos ambientais nas plantas industriais que estão atualmente em operação.

Continua

Conclusão

Interessados	Benefícios e impactos positivos
Concessionária de Energia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permite a criação de programas eficientes de Gerenciamento pelo Lado da Demanda- GLD, com atenuação e deslocamento do pico de demanda que ocorre normalmente entre o período das 17h à 21h, com garantia da qualidade de produtos, projetos e dos resultados a serem obtidos.
Setor educacional	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Qualificação de professores e estudantes em eficiência energética, com ênfase ao aquecimento solar, de forma a disseminar conceitos e tecnologias importantes para o ambiente construído.
Profissionais	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Participação em programas efetivos de qualificação e treinamento; ▪ Ampliação de postos de trabalho.
País	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Investimentos podem ser postergados ou utilizados em outros setores vitais para o bem-estar da sociedade; ▪ Geração de empregos locais, inerentes a fabricação e instalação de aquecedores solares.
Meio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Evita-se o alagamento de áreas verdes e férteis necessárias à construção de usinas hidrelétricas; ▪ Redução da emissão de CO₂ na atmosfera.

Fontes: ABRAVA, 2008; Prado et. al, 2007.

Contudo, há a necessidade de superar desafios para disseminação do SAS em larga escala. Dentro desse contexto, Rodrigues e Matajs (2004) coordenaram uma pesquisa cuja finalidade foi identificar as principais barreiras para a difusão da tecnologia termossolar e as possibilidades para superação destas a partir do ponto de vista de representantes envolvidos no setor de SAS, entre eles: fabricantes, comerciantes, instaladores, consumidores, agentes financiadores e reguladores, companhias de geração e distribuição de eletricidade e pesquisadores. Foram levantadas hipóteses de trabalho sobre essas barreiras e discutidas entre os participantes por meio de entrevistas abertas no decorrer do ano de 2004, conforme apresentado na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Relação das barreiras e estratégias para implantação do SAS.

Barreiras identificadas	Estratégias a serem adotadas
1ª Alto custo inicial de instalação do SAS, comparando-se com o chuveiro elétrico.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Substituição de materiais dos componentes (ex.: termoplásticos e aço revestido de alumínio e zinco); ▪ Ganhos de produtividade por economia de escala.
2ª Prevalência do uso de chuveiros elétrico nas edificações, devido ao seu baixo custo de aquisição e da disponibilidade de infra-estrutura (elétrica e hidráulica) para sua instalação.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Restrição do uso do chuveiro elétrico por meio da regulação geográfica por potência, onde a média anual de temperaturas exige equipamentos de alta potência para regiões do Sul e Sudeste, enquanto permite o uso de baixa potência para regiões como Norte, Nordeste e Centro-Oeste.
3ª Códigos de obras municipais inadequados para implantação da tecnologia termossolar.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Obrigação de instalação de tubulação de água quente no projeto de sistema hidráulico; ▪ Definição de parâmetros técnicos que garantam o acesso ao sol do edifício e aproveitamento da ventilação natural.
4ª Dificuldade para obtenção de financiamento para instalação de coletores solares, devido ao processo burocrático e as altas taxas de juros embutidas nas linhas de crédito.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Realização de <i>workshops</i> para discussão da relação entre financiamento à habitação e uso de aquecedores solares e de campanhas; ▪ Revisão/ alteração dos critérios de financiamento para incorporar o SAS na habitação.
5ª Desinteresse do setor elétrico em implementar programas de conservação e substituição de tecnologias de uso final de energia, visto que implicam em perda de faturamento.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desenvolvimento de mecanismos para negociação entre os beneficiados pela expansão do mercado termossolar e as concessionárias, visando manter a receita média das distribuidoras; ▪ Implantação da “tarifa amarela” que consiste em um mecanismo tarifário que oferece descontos ou acréscimo de custos, dependendo do período que a energia é consumida.
6ª Ausência ou inadequação normativa podendo ocorrer comparação de propostas diferentes de SAS, não considerando os custos de aquisição e instalação do sistema.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Criação de um sistema normativo que considerasse a relação custo-benefício dos equipamentos; ▪ Revisão do escopo dos ensaios realizados no Programa Brasileiro de Etiquetagem.
7ª Falta de capacitação profissional nas áreas de compatibilização de projetos, instalação e manutenção do SAS.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inclusão de conteúdos sobre conservação de energia, arquitetura bioclimática e tecnologia termossolar para os cursos de engenharia civil e arquitetura; ▪ Inclusão de conteúdos sobre dimensionamento e à instalação de circuitos hidráulicos aplicados à tecnologia termossolar para os cursos técnicos; ▪ Promoção de cursos de capacitação profissional.

Fonte: RODRIGUES; MATAJS, 2004.

A pesquisa desenvolvida por Pereira et. al (2003) aponta a existência de barreiras técnicas inerentes ao próprio SAS. Para que a instalação do aquecedor solar propicie a economia de energia pretendida, deve-se evitar a adoção de critérios genéricos de funcionamento. Os autores propõem a adoção de estratégias para a utilização do potencial da tecnologia termossolar no contexto brasileiro, destacando as seguintes ações:

- Disseminação de informações técnicas confiáveis e acessíveis aos consumidores, bem como, a promoção de campanhas de divulgação nas mídias;
- Criação de uma coordenação geral, responsável pela formatação de uma série de condições estruturais, legais e institucionais que permitam o arcabouço necessário à promoção e aperfeiçoamento de programas governamentais para incentivo ao uso de energias renováveis no país;
- Aplicação periódica de pesquisas de mercado, visando atualizar as informações de demanda, interesses do setor e solucionar pontos críticos identificados;
- Estabelecimento de parcerias entre órgãos de fomento à pesquisa e financiamento da produção industrial, universidades, laboratórios de pesquisas e empreendedores, na busca de remover barreiras e desenvolver o mercado de aquecedores solares;
- Coordenação de projetos nas linhas prioritárias de pesquisa ⁷ com estabelecimento de mecanismos efetivos de transferência de tecnologia para o setor industrial.

Estudos dessa natureza permitem o reconhecimento e o entendimento dos desafios a serem superados para possibilitar a disseminação do SAS. Por meio do levantamento de opiniões e sugestões entre as partes interessadas é possível planejar e executar medidas efetivas nos âmbitos federal, estadual e municipal. Além disso, é notável o crescimento de políticas públicas e ações da sociedade civil implementadas, visando aplicabilidade das estratégias mencionadas anteriormente.

⁷No trabalho de Pereira et. al (2003) foram identificadas três linhas de pesquisa prioritárias para o desenvolvimento da tecnologia solar térmica, entre elas: 1) redução de custos dos componentes; 2) aumento de eficiência dos equipamentos e dispositivos; 3) desenvolvimento de *softwares* de projetos solares e programas de apoio a contratos de performance (*ESCOs – Energy Service Companies*).

A segunda questão abrange o SAS inserido na temática da eficiência energética⁸ em edificações residenciais, visando contribuir com a redução do consumo de energia elétrica.

Dentro desse contexto, a lei federal nº 10.295 (BRASIL, 2001), conhecida também como “Lei de Eficiência Energética” representa um marco importante no país, pois estabeleceu a “Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia”. O artigo 4º (BRASIL, 2001) indica que “o Poder Executivo desenvolverá mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no País”. De modo a cumprir tal preceito, foram criados diversos programas de incentivo e de controle da qualidade para implantação do SAS em edificações residenciais. Por exemplo, em 2003 foi criado o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações – PROCEL EDIFICA⁹, que visa construir as bases necessárias para racionalizar o consumo de energia nas edificações no Brasil e também, contribuir na capacitação tecnológica e profissional, estimulando a pesquisa e o desenvolvimento de soluções adaptadas à realidade brasileira.

Em relação às pesquisas financiadas pelo PROCEL EDIFICA, destaca-se o projeto denominado “Casa Eficiente”, que reúne diversas estratégias de adequação climática, com o aproveitamento da ventilação e luz natural, e também, inserção de sistema de captação de água pluvial e de aproveitamento de energia solar. Foram instalados dois sistemas de aquecimento solar, sendo um deles responsável por aquecer a água de consumo (banho e lavatórios), e o outro destinado para aquecimento de ambientes. A Casa Eficiente foi inaugurada e aberta à visitação em março de 2006, constituindo-se em espaço destinado à sensibilização pública, com o objetivo de demonstrar como as soluções de projeto podem favorecer o uso eficiente da energia elétrica e da água nas edificações residenciais (LAMBERTS et al, 2010).

⁸ De acordo com Lamberts et al. (1997, p.14), o termo eficiência energética significa “obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia, Portanto um edifício é mais energeticamente eficiente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia”.

⁹ <http://www.eletrobras.com/elb/main.asp?ViewID={F9A71E97-D6DA-4EB4-84DF-1097E8EC081D}#>

Outrossim, o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), em parceria com membros da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU), publicou um relatório descrevendo as experiências adquiridas pela CDHU durante a implantação de tecnologias existentes em uso racional da água e eficiência energética em empreendimentos destinados à habitação de interesse social (HIS), cujo trabalho está inserido no projeto “*Sustainable Social Housing Initiative*” (SUSHI).¹⁰ Como resultado, foram identificados os desafios para implantação de SAS de ordem técnica (CBCS, 2011, p. 25):

- Elaboração de detalhamentos do projeto de sistemas prediais hidráulicos e de SAS, considerando uma análise do tempo ideal de espera para chegada da água quente;
- Instalação de medição individual de água quente interligado ao aquecimento solar em habitações multifamiliares;
- Verificação do ângulo ideal de inclinação dos coletores solares;
- Obrigatoriedade de uso de substâncias anticongelantes pelas empresas que concorrem à implantação do sistema, nos locais em que seja necessário;
- Elaboração de alternativas construtivas para soluções de baixo custo com eficiência satisfatória para o segmento de HIS;
- Instalação de sistema de recirculação em prédios para os pavimentos inferiores, tendo em vista a redução da diferença de temperatura entre os andares, devendo-se avaliar a necessidade de isolamento térmico das tubulações.

Recentemente, o governo federal publicou o Plano Nacional de Eficiência Energética – premissas e diretrizes básicas (BRASIL, 2011). Esse documento norteia ações direcionadas a metas de economia de energia no contexto do Planejamento Energético Nacional (PNEf). Destaca-se o capítulo 12 - “Programas de eficiência energética em aquecimento solar de água” (BRASIL, 2011, p. 99-111), cujo objetivo principal é traçar um diagnóstico e lançar as bases para um programa de aceleração do uso do aquecimento solar no Brasil.

¹⁰ O projeto SUSHI é promovido pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), que tem como objetivo estabelecer diretrizes para a inclusão de elementos sustentáveis em projetos de Habitação de Interesse Social (HIS).

Considerando os argumentos expostos, a presente pesquisa se justifica com o enfoque de relacionar as expectativas do usuário e aos aspectos técnicos, econômicos e normativos que englobam o projeto de SAS, visando à qualidade no fornecimento de água quente e à redução no consumo de energia elétrica.

1.3 OBJETIVO

O objetivo desta dissertação é propor diretrizes de projeto para integração do sistema de aquecimento solar (SAS) em edificações residenciais com base na abordagem do desempenho.

1.4 ABRANGÊNCIA DA PESQUISA

Esta pesquisa está focada, predominantemente, no sistema de água para abastecimento doméstico composto por coletores planos fechados sem concentração. Outros tipos de SAS utilizados em Brasil são apresentados para efeito comparativo do desempenho quando das limitações do sistema supracitado. A tipologia estudada é restrita a edificações de uso residencial.

1.5 MÉTODO DE TRABALHO

De modo a alcançar o objetivo proposto o trabalho é desenvolvido conforme as fases ilustradas na figura 1.2:

Figura 1.2 – Estrutura do método de trabalho desenvolvido na pesquisa.

Fonte: Elaborada pela AUTORA (2011).

1.5.1 Levantamento de dados

A fase do levantamento de dados consiste em dois tipos de investigações: teórica e prática. A investigação teórica é fundamentada no levantamento bibliográfico a partir de referências nacionais e internacionais, incluindo publicações de periódicos técnico-científicos, manuais técnicos, normas, dissertações e teses. Os conceitos pesquisados são descritos a seguir:

- O estado da arte do SAS no contexto brasileiro, englobando as seguintes informações: os componentes, as principais barreiras e estratégias para implantação do SAS;
- Requisitos de desempenho do SAS e do edifício, conforme NBR 15.569 (ABNT, 2008), NBR 15.575 (ABNT, 2010) e demais normas aplicáveis ao projeto de SAS;
- Fatores condicionantes para tomada de decisão no processo de projeto de SAS, incluindo a normatização brasileira vigente, viabilidade técnica e econômica e compatibilização de projetos de sistemas com interface ao SAS. Tais dados

contribuem para a elaboração do programa de necessidades que atendam às exigências do usuário.

Com relação à investigação prática foram coletadas informações com seis especialistas em desenvolvimento de projeto de SAS; um pesquisador do laboratório de energia solar da UFRGS; o atual gestor do DASOL/ABRAVA e um dos autores do documento “Políticas públicas de incentivo ao uso de sistemas de aquecimento solar no Brasil: acompanhamento das leis aprovadas e dos projetos de lei em tramitação”. A relação dos profissionais está apresentada conforme Tabela 1.2.

Tabela 1.2 – Relação das entrevistas realizadas para obtenção de dados.

Código	Atuação	Formação	Data	Tipo de entrevista
EPL-1	Pesquisador da UFRGS	Engenharia Elétrica	23 ago.2011	peçoal
EGD-1	Gestor da DASOL	Engenharia Elétrica	09 ago.2011	via e-mail
ECS-1	Cidades Solares	Ciências Sociais	15 ago.2011	peçoal
EPP-1	Projetista em SAS	Engenharia Elétrica	04 ago.2011	peçoal
EPP-2	Projetista em SAS	Técnico em Edificações	16 ago.2011	via e-mail
EPP-3	Projetista em SAS	Direito	17 ago.2011	peçoal
EPP-4	Projetista em SAS	Administração	26 ago.2011	peçoal
EPP- 5	Projetista em SAS	Economia	13 out.2011	via e-mail
EPP- 6	Projetista em SAS	Arquitetura	14 nov.2011	via e-mail

Fonte: Elaborada pela AUTORA (2011).

Observa-se na tabela 1.2 que os profissionais entrevistados possuem formação acadêmica diversificada entre si, fato que será destacado no capítulo 2 (item 2.1).

Para realização das entrevistas, elaborou-se um roteiro estruturado com perguntas abertas, cujo objetivo principal foi coletar informações junto aos profissionais especializados em desenvolvimento de projetos de SAS além de dados sobre o panorama atual do mercado brasileiro de tecnologia termossolar.

Günther (2008, p.106) relata que a vantagem da entrevista individual é permitir acesso a informações mais “delicadas”, ou seja, pontos críticos que devem ser

considerados na fase inicial de uma pesquisa. Por sua vez, o questionário auto-aplicável via e-mail tem grande potencial em relação à padronização de perguntas e à facilidade de transcrever as respostas (FLICK, 2009).

Yin (2010, p.135) complementa que “os entrevistados bem-informados podem proporcionar *insights* importantes sobre esses assuntos ou eventos. Eles também podem fornecer atalhos para a história prévia dessas situações, ajudando a identificar outras fontes relevantes de evidência”. Entretanto, segundo o autor, as entrevistas devem ser consideradas apenas relatos verbais e corroboradas com informações de outras fontes, já que as respostas dos entrevistados estão sujeitas aos problemas comuns de parcialidade, falta de memória e de articulação de ideias.

Por essa razão, além da realização das entrevistas e consultas em manuais técnicos disponíveis por mídia eletrônica, a autora participou de dois cursos de capacitação¹¹ de aquecimento solar para água, visando à obtenção de dados complementares sobre aplicações, dimensionamento e instalação do SAS. Cabe destacar que os dados fornecidos pelos entrevistados foram usados para contrapor os conceitos teóricos e as informações obtidas das referências normativas.

1.5.2 Sistematização das informações coletadas

As informações levantadas serão sistematizadas conforme os seguintes aspectos:

- Descrição técnica dos componentes do SAS;
- Requisitos e critérios de desempenho para o SAS e a sua interface com os demais sistemas da edificação residencial;
- Fatores condicionantes para tomada de decisão no processo de projeto;
- Diretrizes de projeto.

¹¹ A autora participou do curso de “Introdução aos conceitos, manufatura e instalação do Aquecedor Solar de Baixo Custo – ASBC”, carga horária de oito horas, promovida pela Sociedade do Sol. O segundo curso, intitulado de “Treinamento de Aquecimento Solar de Água – Aplicações e Instalações”, com carga horária de 16 horas, promovida pela Universidade do Sol.

1.5.3 Análise qualitativa das informações sistematizadas

A análise qualitativa dos dados sistematizados foi realizada a partir dos referenciais legais, técnicos e normativos. Nessa análise são consideradas as principais necessidades dos usuários relacionadas aos requisitos de desempenho do SAS, tais como: segurança estrutural, segurança contra incêndio, segurança no uso e operação, estanqueidade, desempenho acústico, saúde, higiene e qualidade da água, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico, durabilidade e manutenibilidade.

1.5.4 Conclusões e Considerações Finais

As considerações finais e conclusões da autora são resultantes da análise qualitativa das informações coletadas durante o processo de desenvolvimento desta pesquisa.

1.6 ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS

O primeiro capítulo introduz o tema central desta dissertação, apresentando dados que justifiquem sua relevância no contexto atual. Além disso, são expostos o objetivo, a abrangência da pesquisa, o método de trabalho e a estrutura dos capítulos.

No segundo capítulo “**O sistema de aquecimento solar (SAS)**” é apresentada uma breve cronologia da evolução da tecnologia termossolar inserida no mercado brasileiro, destacando os programas de incentivo e de controle da qualidade para implantação desse sistema. Além disso, são descritas as características técnicas e operacionais dos principais componentes desse sistema instalado em edificações residenciais.

O terceiro capítulo “**Requisitos de desempenho para o SAS**” reúne os requisitos de desempenho de SAS, a partir da sistematização dos dados coletados nas normas brasileiras, documentos técnicos e também nas entrevistas com profissionais do ramo e empresas fabricantes.

No quarto capítulo “**Fatores condicionantes para tomada de decisão no processo de projeto do SAS**” é realizada a interpretação dos requisitos e critérios de desempenho do SAS segundo a lógica do programa de necessidades, o que permite a reflexão sobre a hierarquização das expectativas dos usuários e a consequente identificação dos principais aspectos normativos, legais, técnicos e econômicos do projeto que determinam o desempenho do SAS em edificações residenciais.

O quinto capítulo “**Diretrizes para o projeto de sistema de aquecimento de água (SAS) em edificação de uso residencial**” propõe o estabelecimento de diretrizes para o projeto de SAS incorporado ao projeto de edificações residenciais. Além disso, apresenta um modelo de ficha técnica sintetizando as principais características de um projeto de SAS.

O sexto capítulo “**Considerações Finais**” é conclusivo, sintetizando as principais contribuições reflexivas e apresentando sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

O SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR (SAS)

2. O SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR (SAS).

Neste capítulo é apresentada uma breve cronologia da evolução da tecnologia termossolar inserida no mercado brasileiro, destacando os programas de incentivo e de controle da qualidade para implantação desse sistema em edificações. Além disso, são descritas as características técnicas e operacionais dos principais componentes desse sistema instalado em edificações residenciais.

2.1 BREVE HISTÓRICO SOBRE PROGRAMAS DE INCENTIVO E DE CONTROLE DA QUALIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DO SAS.

A figura 2.1 apresenta uma breve cronologia da evolução da tecnologia termossolar inserida no mercado brasileiro.

Figura 2.1 - Cronologia da evolução da tecnologia termossolar no Brasil.

Fonte: Elaborada pela AUTORA (2010).

A inserção dos coletores solares no mercado brasileiro teve início na década de 1970, impulsionada pela crise mundial do petróleo. Esse período foi caracterizado pela utilização de processos inadequados de fabricação e pelo elevado grau de

desconhecimento técnico sobre durabilidade e o rendimento dos equipamentos, resultando em uma imagem negativa desta tecnologia (ABRAVA, 2008).

Na década de 1980, teve início o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)¹² em 1984 e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) em 1985. Em 1988, foram divulgadas as primeiras normas brasileiras sobre ensaios dos componentes do SAS. As normas NBR 10.184 -coletores solares planos líquidos: determinação do rendimento térmico (ABNT, 1988a) e NBR 10.185 - reservatórios térmicos para líquidos destinados a sistemas de energia solar: determinação de desempenho térmico. (ABNT, 1988b) estavam restritas à eficiência térmica dos coletores (PEREIRA et. al, 2003). Embora relevantes, as normas garantiam apenas a qualidade dos componentes do SAS; o segmento ainda carecia de normas ou referenciais técnicos sobre os procedimentos de cálculo, instalação, uso e manutenção dos sistemas. Tampouco havia normas sobre a avaliação do desempenho dos componentes do SAS ao longo da vida útil do sistema, ou seja, da sua durabilidade.

Na década de 1990, constatou-se um crescimento significativo do mercado brasileiro, incentivando a profissionalização, o desenvolvimento técnico comercial e a competitividade mercadológica do setor. No ano de 1992 foi criado o Departamento Nacional de Aquecimento Solar (DASOL)¹³, com a finalidade de promover, divulgar e desenvolver a adoção da energia solar térmica no Brasil.

No ano de 1993 foi criado o Selo PROCEL, cujo objetivo é identificar os produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética, incentivando o mercado consumidor a adquirir e utilizar produtos mais eficientes, bem como, as empresas fabricantes a buscar periodicamente soluções tecnológicas que visam o desempenho energético dos seus equipamentos (ELETROBRAS, 2011 b). A concessão do Selo PROCEL para os coletores planos fechados (aplicação em

¹² O PBE foi criado por acordo firmado entre o Ministério da Indústria e do Comércio Exterior (MDIC) e a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE), com a interveniência do Ministério de Minas e Energia (MME), visa fornecer informações aos usuários sobre o consumo de energia dos equipamentos eletrodomésticos. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe.asp>

¹³ <http://www.dasolabrava.org.br/>

banho e piscina) iniciou em 2000; para os reservatórios térmicos em 2002 e para os reservatórios térmicos de alta pressão em 2005.

No ano de 1997 foi implantado o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água, permitindo a criação de critérios técnicos para comparar a qualidade dos diferentes modelos e marcas de coletores solares disponíveis no mercado. Em 1999, os reservatórios térmicos foram incluídos no PBE. Os resultados dos ensaios¹⁴ realizados são sumarizados na forma de etiqueta denominada Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), que tem como função informar ao consumidor final o desempenho térmico e durabilidade de sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água (INMETRO, 2007).

O ano de 2001 foi caracterizado pela crise do setor elétrico brasileiro e pela política de racionamento de energia elétrica, na qual foram estipuladas metas de redução de consumo de energia para os diferentes setores da economia (residencial, industrial, de serviços). Diante deste cenário, o SAS se destacou como alternativa tecnológica para substituição dos chuveiros elétricos, reduzindo o consumo da carga elétrica nos horários de picos de demanda (BRAZIL, 2006).

No ano de 2005 foi lançado o programa QUALISOL Brasil visando garantir a qualidade, segurança e confiabilidade das instalações e consequentemente, a satisfação do consumidor final. De acordo com informações obtidas com o gestor da DASOL (informação pessoal)¹⁵, as exigências mínimas requeridas para que o projetista atue no desenvolvimento de projetos de SAS são: ter concluído o ensino médio, preferencialmente técnico projetista, e ter conhecimento dos conceitos dos fenômenos físicos, mecânica dos fluídos, termodinâmica, resistência e propriedades dos materiais, geometria solar, alternativas de fontes de energia renovável e sua respectiva análise de viabilidade econômica.

¹⁴ Os procedimentos de ensaios e controle devem ser executados conforme o regulamento para uso da ENCE – RESP-006/SOL (INMETRO, 2007).

¹⁵ MESQUITA, M. **Entrevista com Gestor do Departamento Nacional de Aquecimento Solar (DASOL) – EGD**. Mensagem recebida por gestor.dasol@abrava.org.br em dia 09 ago. 2011

Constatou-se que as instituições de ensino superior (IES) não oferecem cursos para formação de projetistas especializados no desenvolvimento de projeto de SAS. Algumas instituições como o Senai ou o próprio DASOL oferecem cursos de extensão (de curta duração, dirigidos à atualização profissional) nesta área de conhecimento. Em geral, esses cursos transmitem conceitos básicos do sistema e realizam treinamento técnico para instalação do SAS.

Apesar dos cursos em questão serem direcionados aos profissionais do setor da construção civil, profissionais com formações diversas, tais como administradores de empresas ou bacharéis em direito, dentre outros, habilitam-se como aplicadores de SAS e, por conseguinte, tornam-se também projetistas do SAS. Tal fato foi constatado durante a realização de entrevistas com os especialistas em projetos de SAS (ver tabela 1.2). Considerando a prática mercadológica atual, onde os revendedores e instaladores de SAS assumem uma posição estratégica de difusão da tecnologia, observa-se que muitas vezes a decisão de aquisição do sistema fica subordinada somente às vantagens do SAS que resulta na falta de integração do sistema à edificação. Como consequência, podem gerar inúmeras falhas no funcionamento do sistema, trazendo prejuízo e insatisfação aos usuários.

Cabe destacar que as empresas interessadas na obtenção do selo de qualidade, visando como um diferencial de mercado em relação às empresas concorrentes, devem cumprir procedimentos descritos no manual do programa QUALISOL Brasil (ABRAVA et al, 2007).

Conclui-se, que o foco desse programa não é formar projetistas integradores, e sim qualificar os fornecedores para garantir a conformidade dos equipamentos/componentes. Essa iniciativa é positiva, porém não garante que o sistema irá funcionar bem em todas as residências em que for instalada porque não há visão sistêmica e integração de soluções.

No ano de 2006 foi criada a iniciativa Cidades Solares pelo DASOL e pela organização não-governamental Instituto *Vitae Civilis*. Esta iniciativa se destaca pela atuação da sociedade civil em propor e acompanhar a tramitação, aprovação, sanção ou veto de leis que incentivem ou estabeleçam o uso obrigatório de SAS nos

âmbitos municipal, estadual e federal (SOARES; RODRIGUES, 2010). O *site* Cidades Solares¹⁶ disponibiliza de um banco de dados contendo diversos casos municipais, estaduais e federais, que permitem uma análise qualitativa e comparativa de ações governamentais. A sistematização destas informações e sua atualização periódica funcionam como uma importante ferramenta de auxílio à tomada de decisões entre os agentes responsáveis para criação e regulamentação de leis e decretos que sejam efetivamente implementadas nos municípios brasileiros.

No ano de 2008, entra em vigor a NBR 15.569 - sistema de aquecimento solar de água em circuito direto: projeto e instalação¹⁷ (ABNT, 2008), que estabelece os requisitos para o SAS aplicado ao uso doméstico, considerando aspectos de concepção, dimensionamento, arranjo hidráulico, instalação e manutenção, cujo fluido utilizado é a água. Em 2009, a NBR 15.747-1 - sistemas solares térmicos e seus componentes - Coletores solares. Parte 1: requisitos gerais (ABNT, 2009) e NBR 15.747-2 - sistemas solares térmicos e seus componentes - Coletores solares. Parte 2: métodos de ensaio (ABNT, 2009), substituindo a NBR 10.184 (ABNT, 1988), especificam os requisitos de durabilidade, confiabilidade, segurança e desempenho térmico dos coletores solares de aquecimento líquidos, bem como, os métodos de ensaios para avaliação das conformidades com esses requisitos.

No ano de 2010 foi aprovado o Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ) para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais PROCEL EDIFICA¹⁸; publicado na portaria nº 449/2010 (INMETRO, 2010). O objetivo principal deste regulamento é criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares. Esse documento descreve critérios para avaliação da eficiência de sistemas de aquecimento de água, com destaque para o item 3.2.2.1 - sistema de aquecimento solar (INMETRO, 2010, p. 80-89).

¹⁶ <http://www.cidadessolares.org.br/>

¹⁷ A NBR 15.569 (2008) substituiu a NBR 12.269 (1992), que estabelecia as condições exigíveis somente para a execução de instalações de coletores solares planos para aquecimento de água.

¹⁸ O Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações – PROCEL EDIFICA foi criado em 2003, tendo com objetivo construir as bases necessárias para racionalizar o consumo de energia nas edificações no Brasil e também, apoiar a implantação da regulamentação da Lei Federal nº 10.295 (BRASIL, 2001) no que se refere às edificações.

O Selo Casa Azul, lançado em 2010 pela Caixa Econômica Federal, é um instrumento de classificação socioambiental de projetos de empreendimentos habitacionais, que visa reconhecer os empreendimentos que adotam soluções mais eficientes aplicadas à construção, ao uso, à ocupação e à manutenção das edificações. O critério “sistema de aquecimento solar” está inserido na categoria eficiência energética, e é avaliado como critério de livre escolha. O objetivo é reduzir o consumo de energia elétrica ou de gás para o aquecimento de água. (JOHN; PRADO, 2010).

A resolução nº 166 (BRASIL, 2010), incluem os subitens 9.2.3.1 e 9.2.3.2 ao item 9.3.2 da resolução CCFDS nº 141 (BRASIL, 2009) estabelecendo as regras de financiamento para aquisição de equipamentos de SAS inserido no Programa Minha CasaMinha Vida (PMCMV)¹⁹. Os valores de custo de instalação do SAS foram limitados a R\$ 2.500,00 para cada unidade habitacional, em empreendimentos multifamiliares verticais e a R\$ 1.800,00 para cada unidade habitacional, em empreendimentos horizontais. Recentemente, a Portaria nº 325 do Ministério das Cidades (BRASIL, 2011) instituiu as diretrizes gerais da segunda fase do PMCMV²⁰. Esse documento determina que em todas as unidades unifamiliares contratadas para a faixa de renda 1 (renda familiar de até três salários mínimos) deverão ser instalados sistemas de aquecimento solar (SAS). Como consequência, ao criar a demanda pelos equipamentos de SAS, espera-se que os custos dos mesmos sejam reduzidos a longo prazo.

2.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E OPERACIONAIS DOS COMPONENTES DO SAS

O sistema de aquecimento solar (SAS) é constituído por um conjunto de componentes responsáveis em realizar diferentes funções:

- Captar a energia solar;
- Transferir a energia para o fluido;

¹⁹ O PMCMV criado pela lei federal nº 11.977 (BRASIL, 2009), cujos dispositivos são regulamentados pelo decreto nº 7.499 (BRASIL, 2011), tem por finalidade criar mecanismos de incentivo à produção e aquisição de novas unidades habitacionais, requalificação de imóveis urbanos e produção ou reforma de habitações rurais, para famílias com renda mensal de até dez salários mínimos.

²⁰ A segunda fase do PMCMV tem como meta construir 860 mil unidades habitacionais para famílias com renda mensal de até três salários mínimos (REVISTA SOL BRASIL, 2011b).

- Armazenar a energia térmica e distribuir a água aquecida para os pontos de consumo.

O SAS é complementado por um sistema convencional auxiliar, que pode ou não estar integrado na mesma instalação (SUQUET, 2006). A transferência de energia térmica entre cada um destes componentes é assegurada por dois circuitos (ABNT NBR 15.569:2008), conforme apresentado na figura 2.2. O circuito primário é responsável pela transferência da energia captada nos coletores para o reservatório térmico. O circuito secundário é responsável pelo abastecimento e distribuição da água quente nos pontos de consumo.

Fonte: NBR 15.569 (ABNT, 2008, p 26).

2.2.1 Classificação do SAS

Existem diferentes tipos de sistemas envolvendo o aquecimento da água por meio do aproveitamento da energia solar. De acordo com a NBR 15.569 (ABNT, 2008) o SAS pode ser classificado em três categorias, conforme apresentado no quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Classificação do SAS conforme NBR 15.569 (ABNT, 2008).

Atributo	Categorias		
	I	II	III
Arranjo	solar mais auxiliar	somente solar	pré-aquecimento solar
Circulação	natural ou termossifão	forçada	-
Regime	acumulação	passagem	-
Armazenamento	convencional	acoplado	integrado
Alimentação	exclusiva	não exclusiva	-
Alívio de pressão	respiro	conjunto de válvulas	-

Fonte: NBR 15.569 (ABNT, 2008).

Os critérios de classificação²¹ e conjunto de classificações adotados pelo *Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía* (IDAE, 2009), conforme exemplificado no quadro 2.2, diferem-se dos critérios de classificação por categorias adotadas pela ABNT.

Quadro 2.2 – Classificação do SAS conforme IDAE (2009).

Critérios	Classificação
Princípio de circulação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Instalação por termossifão ou circulação natural ou sistema passivo; ▪ Instalação por circulação forçada ou sistema ativo;
Sistema de transferência de calor	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Instalação de transferência direta sem trocador de calor; ▪ Instalação com trocador de calor em acumulador solar;
Sistema de expansão	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema aberto; ▪ Sistema fechado;
Contribuição de energia auxiliar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema de energia auxiliar em acumulador solar; ▪ Sistema de energia auxiliar em acumulador secundário individual; ▪ Sistema de energia auxiliar em acumulador secundário centralizado; ▪ Sistema de energia auxiliar em acumuladores secundários distribuídos; ▪ Sistema de energia auxiliar em série centralizado; ▪ Sistema de energia auxiliar em série distribuído; ▪ Sistema de energia auxiliar em paralelo.
Aplicação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Instalações para aquecimento de água de uso doméstico; ▪ Instalações para usos industriais; ▪ Instalações para calefação; ▪ Instalações para refrigeração; ▪ Instalações para climatização de piscinas; ▪ Instalações de uso combinado; ▪ Instalações de preaquecimento.

Fonte: IDAE, 2009.

²¹ O termo “critério” adotado pelo IDAE (2009) equivale-se ao conceito “atributos” da NBR 15.569 (ABNT, 2008).

Esse documento técnico espanhol contém informações detalhadas das diferentes configurações de sistema aquecimento no que tange a contribuição de energia auxiliar, e que não consta na norma brasileira. Tais informações são importantes ao projetista para que ele tenha subsídios para elaboração do programa de necessidades.

Outrossim, o documento do IDAE (2009) apresenta outras possibilidades de uso do SAS além de aquecer água para o consumo, por exemplo: para aquecimento passivo de ambientes, para aquecimento de piscinas, para desidratação de alimentos em escala industrial, e que não são considerados na norma brasileira. Porém, dado o potencial de aquecimento solar no território brasileiro, estas outras opções de uso do SAS já estão sendo discutidas por grupo técnico denominado Normasol. Esse grupo foi criado em 2005 com apoio do MCT (Ministério de Ciência e Tecnologia) e da FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) e tem como objetivo revisar e elaborar todo o conjunto de normas²² relacionadas ao aquecimento solar no Brasil (PEREIRA, 2010).

A seguir são descritos os principais atributos referentes à classificação do SAS, de modo a facilitar a compreensão do tema.

2.2.1.1 Arranjo

De acordo com a NBR 15.569 (ABNT, 2008), consideram-se três tipos de arranjo para a operação do SAS, a saber:

- Solar mais auxiliar: sistema que utiliza as fontes de energia solar e o sistema auxiliar de energia, de modo integrado;
- Somente solar: sistema que não utiliza sistema de aquecimento auxiliar;
- Preaquecimento solar: sistema instalado para preaquecer água fria, previsto na entrada de qualquer outro tipo de aquecedor de água.

²²Estas normas englobam: ensaios de componentes e características construtivas e tecnológicas de produtos e processos, especificações de projeto e dimensionamento de sistemas de aquecimento solar e instalações de sistemas de aquecimento solar.

O tipo “solar mais auxiliar” é o arranjo mais utilizado nos projetos de SAS, já que proporciona água quente independentemente da disponibilidade de energia solar.

2.2.1.2 Regime

No regime de acumulação a água quente circula entre os coletores solares e o dispositivo de armazenamento durante os períodos de funcionamento (ABNT NBR 15.569:2008), permitindo que a água seja consumida em diferentes horários do dia. Este regime é utilizado na instalação de SAS em residências. No regime de passagem a água a ser aquecida circula diretamente desde os coletores solares até o uso. Este regime é geralmente empregado em processos industriais em que há necessidade de elevar a temperatura em um processo de fluxo contínuo (EKOS BRASIL; VITAE CIVILIS, 2010).

2.2.1.3 Armazenamento

O armazenamento da água pode ser do tipo convencional; acoplado e integrado, conforme ilustrado no quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Tipos de armazenamento do SAS.

Tipo de armazenamento	Característica geral
<p>Convencional</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ O dispositivo de armazenamento está separado do coletor e está localizado a uma distância determinada.
<p>Acoplado</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ O dispositivo de armazenamento termina com o coletor e está montado sobre uma estrutura de suporte comum.
<p>Integrado</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ As funções de coleta e armazenamento da energia solar são utilizadas dentro do mesmo dispositivo. Esse tipo de sistema não permite a conservação do volume de água quente por tempo prolongado.

Fonte: Adaptado da NBR 15.569 (ABNT, 2008) pela autora. As imagens correspondem à praça do Sol da Universidade do Sol, cujos créditos são da AUTORA (2011).

O tipo de armazenamento convencional é comumente especificado para residências multifamiliares e unifamiliares de médio e alto padrão. O tipo de armazenamento acoplado é amplamente utilizado em habitações de interesse social (HIS), devido à sua facilidade de instalação e o baixo custo de implantação em comparação ao tipo convencional. Já o tipo de armazenamento integrado é pouco utilizado, tendo poucos produtos disponíveis no mercado nacional.

2.2.1.4 Alimentação

O abastecimento de água fria nos reservatórios pode ser: a) exclusiva: a alimentação de água fria abastece somente o SAS; b) não-exclusiva: a alimentação de água fria abastece o SAS e outros pontos de consumo (ABNT NBR 15.569:2008). A seleção por uma dessas opções dependerá de critérios de sistema hidráulico, que devem ser definidos desde o início do projeto da edificação.

2.2.1.5 Alívio de pressão

O conjunto de válvulas consiste no sistema em que a equalização das pressões positivas e negativas (saída de ar e vapor) é realizada por dispositivos mecânicos (ver item 2.3.4), ilustrado na figura 2.3.

(a)

(b)

Figura 2.3 – (a) Respirador e (b) Conjunto de válvulas, respectivamente.

Créditos: MIYAZATO, 2011.

O respiro é “o dispositivo destinado à equalização natural das pressões positivas e negativas do SAS, saída de ar e vapor” (ABNT NBR 15.569: 2008, p. 3). Para sua instalação, a tubulação deve ser desobstruída, livre e aberta à atmosfera.

Recomenda-se cumprir os seguintes requisitos: (a) a tubulação deve ser instalada na posição ascendente a partir do ponto de conexão mais alto do reservatório térmico; (b) o tubo deve ultrapassar no mínimo 30 cm o nível de água máximo do reservatório de água fria; (c) o diâmetro do tubo não deve ser inferior a 15 mm.

2.2.1.6 Circulação

O quadro 2.4 apresenta a análise comparativa dos sistemas de circulação de fluido de trabalho²³ do SAS, destacando os aspectos positivos e negativos de cada sistema.

Quadro 2.4 – Análise comparativa dos sistemas de circulação de fluido de trabalho do SAS.

Sistema	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Sistema forçado, bombeado ou ativo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permite maior flexibilidade na seleção do coletor e no <i>layout</i> da tubulação; ▪ Remove o calor do coletor com aproveitamento máximo; ▪ Reduz a perda de calor nas tubulações; ▪ Permite o aquecimento múltiplo de vários pavimentos com alternância inteligente de prioridades; ▪ Evita o superaquecimento e protege do congelamento integral; ▪ Possibilita o cálculo preciso da perda de calor. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Custo de aquisição e manutenção mais caro que o sistema passivo; ▪ Necessita de controle de bomba quando usado com fornecimento de energia de corrente alternada (CA).
Sistema natural, termossifão ou passivo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema simples e barato; ▪ Não têm perdas elétricas; ▪ A água aquecida pode subir naturalmente ao topo do coletor, não necessitando de equipamento elétrico (motobomba) para promover a sua circulação. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Necessita de coletores especiais para funcionar com máxima eficiência; ▪ A rota da tubulação necessita ser cuidadosamente planejada, para não restringir o movimento do fluido pelo subdimensionamento.

Fonte: Adaptado de ROAF et. al, (2006).

Define-se que no sistema de circulação forçada, denominado também como sistema ativo, o fluido de trabalho é forçado a circular entre o coletor e o reservatório térmico por pressão gerada externamente (por exemplo, motobomba), conforme ilustrado na figura 2.4.

²³ De acordo com a NBR 15.569 (ABNT, 2008, p.3) o fluido de trabalho refere-se a água ou qualquer outro meio utilizado para o transporte de energia em um sistema de aquecimento de água por meio do aproveitamento da energia solar.

Figura 2.4 – Esquema simplificado de um sistema ativo ou de circulação forçada.

Fonte: DIAS, 2012

Durante o funcionamento, a motobomba é acionada por um controle termostático diferencial, que possui sensores conectados ao reservatório e ao coletor, reportando a temperatura de ambos. Para o seu desligamento, a diferença de temperatura deverá ser reduzida ou a água do reservatório deverá alcançar a temperatura desejada (LIMA, 2003). Deve-se operar a motobomba com intervalos que possibilitem o máximo desempenho do sistema e em condições estáveis de funcionamento (SÁLES, 2008).

No sistema de circulação natural, conhecido também como termossifão ou sistema passivo, utiliza-se somente a mudança de densidade do fluido de trabalho para obter a circulação entre o coletor e o dispositivo de armazenamento. Isso significa que o valor da densidade do fluido, no caso é a água, torna-se menor conforme o aumento da temperatura (vice-versa), ilustrada na figura 2.5.

Figura 2.5 - Esquema de funcionamento de um sistema termossifão.
Fonte: DIAS, 2012.

Assim, observa-se que a água do coletor será sempre mais leve, pois terá menor densidade em relação à que se encontra no reservatório térmico, cuja água será mais pesada, possuindo maior densidade (ABNT NBR 15.569:2008). A tabela 2.1 demonstra a variação dos valores da densidade da água conforme o aumento da temperatura.

Tabela 2.1 – Densidade da água de 0°C a 100°C.

Temperatura °C	Densidade Kg/m ³	Temperatura °C	Densidade Kg/m ³	Temperatura °C	Densidade Kg/m ³
0	999,839	30	995,647	70	977,771
5	999,964	40	992,215	80	971,799
10	999,699	50	988,037	90	965,321
20	998,204	60	983,200	100	958,365

Fonte: PERRY et al. (2008, p. 2-92 e 2-93)

Segundo Sáles (2008), o sistema por termossifão apresenta uma particularidade relacionada à necessidade do reservatório ser instalado sempre acima do nível dos coletores solares, evitando assim que o fluido não escoe em sentido contrário ao desejado. Entretanto, este tipo de configuração pode dificultar a integração entre a solução técnica e a estética arquitetônica. Cabe ao projetista definir a disposição mais adequada do reservatório térmico na edificação, considerando o espaço disponível para sua instalação e as distâncias recomendadas para o seu funcionamento (quadro 2.5).

Quadro 2.5 – Tipos de instalação de reservatório térmico em sistema passivo.

Tipo	Características	Desenho esquemático
Reservatório Térmico de Desnível	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O reservatório térmico deverá ser instalado abaixo do reservatório de água, cujo desnível pode variar de zero até o limite de pressão admissível no reservatório; ▪ Os coletores solares deverão ser instalados no mínimo a 30 cm abaixo do fundo do reservatório térmico; ▪ A distância máxima entre os componentes não deverá ultrapassar 5m. 	<p><u>SISTEMA EM DESNÍVEL</u></p>
Reservatório térmico de nível	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O reservatório térmico pode ter o seu topo nivelado com o nível da bóia do reservatório de água, facilitando a instalação do aquecedor solar em telhados baixos; ▪ As distâncias mínimas são as mesmas da instalação do reservatório térmico de desnível. 	<p><u>SISTEMA EM NÍVEL</u></p>
Reservatório térmico de nível e nível	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O dispositivo implantado no reservatório térmico permite que os coletores seja nivelados com a tubulação de retorno; ▪ O topo dos coletores poderá ficar até 15 cm abaixo da conexão de retorno de água quente; ▪ A opção viabiliza a instalação do SAS em telhados com altura bastante reduzida; ▪ A distância máxima entre os componentes não deverá exceder os 3 metros. 	<p><u>SISTEMA NÍVEL E NÍVEL</u></p>

Fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DO COBRE; SOLETROL, s/d.

Constata-se que em muitos casos de edificações já construídas, principalmente os de médio e grande porte, não é possível atender as dimensões recomendadas para o funcionamento do SAS por sistema passivo (termossifão). Sendo assim, o projetista pode optar pelo sistema ativo (bombeado), especificando os componentes necessários.

2.2.1.7 Transferência de calor

A diferença entre os SAS com circuito direto ou indireto reside na existência ou não de um trocador de calor intermediário entre o circuito dos coletores solares e o reservatório térmico, sendo mais eficientes os circuitos diretos. O quadro 2.6 apresenta uma análise comparativa dos dois sistemas de transferência de calor.

Quadro 2.6.– Análise comparativa dos sistemas de transferência de calor de SAS.

Sistema	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Direto	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inicialmente tem menor perda de transferência armazenada; ▪ Sistema permite um método barato e simples para aquecer água durante o dia. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escamação e corrosão de componentes a longo prazo podem ocorrer com tipos de pH de água, acarretando em aumento de perda de transferência.
Indireto	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A utilização de inibidores anticorrosão e anticongelamento propicia a variedade de materiais a serem empregados na placa de absorção e no sistema de tubulações; ▪ Permite temperaturas mais elevadas dos coletores; ▪ Reduz o depósito de resíduos sólidos dentro dos coletores solares. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Custo inicial de aquisição mais elevado que o sistema direto.

Fonte: Adaptado de ROAF et. al (2006).

No sistema direto, a água utilizada pelo usuário circula primeiramente pelo coletor solar onde é aquecida, conforme ilustrado na figura 2.6.

Figura 2.6 - Esquema de funcionamento de um sistema ativo direto.

Fonte: PRADO et. al (2007) adaptado de LIMA (2003), p. 20.

No sistema indireto, exemplificado na figura 2.7 utiliza-se uma mistura anticongelamento²⁴ que circula pelo coletor solar e após aquecida, passa por um trocador que transfere o calor para a água aproveitada pelo usuário da edificação (KELLER, BURKE, 2010)

Figura 2.7– Esquema simplificado de um sistema passivo indireto.

Fonte: PRADO *et. al* (2007) adaptado de LIMA (2003), p.21.

Segundo Hudson e Markell²⁵ (1985 *apud* Lafay, 2005 p.24), a principal razão para a utilização de sistemas indiretos é a necessidade de proteção contra o congelamento, em locais expostos a baixas temperaturas.

2.2.1.8 Distribuição de água quente

De acordo com Faria (2009) existem quatro tipos de distribuição de água quente, seja por aquecimento complementar coletivo ou individual da água proveniente dos coletores solares, conforme apresentado no quadro 2.7.

²⁴ O sistema de anticongelamento será abordado no item 2.2.7

²⁵ HUDSON, L.G., MARKELL, J., 1985. "Solar Technology", Reston Publishing Company, Reston.

Quadro 2.7 – Tipos de sistema de distribuição de água quente.

Tipo	Características gerais
<p>Sistema direto (Aquecimento Solar + Aquecimento Auxiliar Individual)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A água é pré-aquecida no sistema central de aquecimento solar do condomínio e distribuída para consumo entre as unidades.; ▪ Cada apartamento conta com um sistema de aquecimento auxiliar, que fornece mais calor à água para que ela atinja a temperatura final de consumo desejada; ▪ O líquido não consumido pelas unidades volta ao sistema para ser reaquecido; ▪ Os apartamentos que utilizam muita água quente durante o período da tarde aproveitam mais o pré-aquecimento solar e usam menos o sistema de apoio individual, consumindo menos energia elétrica ou gás. Por outro lado, os que usam mais água quente no período da manhã, quando o pré-aquecimento é menos eficiente, recorrerão mais aos sistemas de apoio.
<p>Res – Reservatório AQ – Aquecimento auxiliar M – Medidor individual de água TC – Trocadores de calor</p> <p>Sistema direto (Aquecimento Solar + Aquecimento Auxiliar Coletivo)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A água quente, já na temperatura final, é distribuída para o consumo entre todos os apartamentos; ▪ Não são necessários aquecedores complementares nas unidades; ▪ A água não utilizada é reaquecida no sistema. ▪ Como todo o sistema de aquecimento é coletivo, o consumo de energia elétrica ou de gás do sistema de apoio é cobrado do condomínio, e a conta é dividida entre os condôminos. A solução é o emprego de um sistema de medição individualizada na rede de água quente do condomínio.
<p>Sistema indireto (Aquecimento Solar + Aquecimento Auxiliar Individual)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apenas a energia térmica da água quente é utilizada para elevar a temperatura da água fria no próprio apartamento, num equipamento chamado trocador de calor. Não há mistura dessas águas. Cada unidade conta ainda com aquecedores auxiliares para elevar a temperatura da água ao nível desejado pelo usuário.

continua

conclusão

Tipo	Características gerais
<p>Sistema indireto (Aquecimento Solar + Aquecimento Auxiliar Coletivo)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Os sistemas de aquecimento solar e de apoio são coletivos. A água quente circula por um circuito fechado e é utilizada para elevar a temperatura da água fria em trocadores de calor dentro dos apartamentos. ▪ Não são necessários aquecedores complementares nas unidades. ▪ O consumo de energia elétrica ou de gás do sistema de apoio é cobrado do condomínio e a conta é dividida entre os condôminos. Porém, não é possível medir a quantidade de água quente consumida pelo apartamento, pois ela volta para o circuito fechado. Uma solução para ratear as despesas é medir o calor consumido por cada unidade para aquecer sua água fria, instalando medidores de calor (BTU meters) nos trocadores de calor de cada unidade.

Fonte: FARIA, 2009.

A opção pelo melhor sistema dependerá das características do edifício, como por exemplos: espaço disponível no interior do apartamento, na cobertura, padrão do empreendimento etc (EKOS BRASIL; VITAE CIVILIS, 2010).

A seguir são descritas as características gerais dos componentes do sistema de aquecimento solar (coletores, reservatórios, trocador de calor, instalações hidráulicas e elétricas, proteção anticongelamento, anel de recirculação e pressurização) e suas respectivas funções.

2.2.2 Coletores solares

O coletor solar é o “dispositivo projetado para absorver a radiação solar e transferir a energia térmica produzida para um fluido que passa pelo equipamento” (ABNT NBR 15747-1:2009). Atualmente, os diferentes tipos de coletores solares são divididos em dois grupos, conforme apresentado no quadro 2.8:

Quadro 2.8 – Tipos de coletores solares.

Grupos	Características gerais	Tipos
Coletores solares sem concentração	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aplicados na energia solar térmica de baixa temperatura; ▪ o fluido não ultrapassa 70°C de temperatura. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coletor solar plano (aberto ou fechado); ▪ Coletor de ar; ▪ Coletor com tubo evacuado; ▪ Painel solar termodinâmico.
Coletores solares de concentração	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uso de métodos de concentração da óptica, capazes de elevar a temperatura de fluido superior a 70°C; ▪ Aplicados na energia solar térmica de média e alta temperatura; ▪ Necessidade de um sistema de acompanhamento para conseguir que o coletor esteja permanentemente apontado em direção ao Sol. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Concentradores cilíndricos; ▪ Concentradores parabolóides.

Fonte: Disponível em: http://www.procobre.org/pr/pdf/02_energia_solar_05_pr.pdf. Acesso em: 20 out. 2011.

De acordo com a ABRAVA (2008), o modelo mais utilizado no Brasil é o coletor plano fechado (62%). Em segundo lugar está o coletor plano aberto (34%); o restante corresponde à utilização de tubos a vácuo (4%). Já no mercado internacional, predomina a utilização de tubos a vácuo, seguida pelo coletor plano (WEISS; MAUTHNER, 2010). A seleção do tipo de coletores irá depender da sua aplicação, visto que a sua eficiência está relacionada com o valor da temperatura de entrada da água no mesmo (AITA, 2006).

A seguir são apresentadas as características gerais dos tipos de coletores solares sem concentração utilizados em edifícios residenciais. Cabe esclarecer que o foco principal da presente pesquisa é o SAS composto por coletores planos fechados, porém faz-se necessário e importante conhecer os diferentes tipos de coletores, proporcionando uma ampla visão quanto às possibilidades de aplicação. Na sequência são apresentadas outras características do sistema (fixação, disposição e associação hidráulica dos coletores) aplicáveis aos tipos descritos.

2.2.2.1 Coletores planos fechados

O coletor fechado plano é o tipo mais utilizado em instalações de produção de água quente para uso doméstico mediante energia solar (SUQUET, 2006). O quadro 2.9

relaciona os principais aspectos positivos e negativos da utilização de coletores planos fechados.

Quadro 2.9 – Aspectos positivos e negativos da utilização de coletores planos fechados.

Aspectos positivos	Aspectos negativos
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Custo baixo em comparação ao coletor de vácuo; ▪ Oferece múltiplas opções de montagem (sobre o telhado, integrado no telhado, montado na fachada e de instalação livre); 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apresenta menor eficiência em relação aos coletores de vácuo e coletores parabólicos compostos (CPC); ▪ Não serve para gerar temperaturas, acima de 70°C (geração de vapor, fornecimento de calor para máquinas de refrigeração);
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Boa taxa de preço / performance; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Exige mais espaço no telhado do que os coletores de vácuo.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permite montagem simples. 	

Fonte: COMISSÃO EUROPEIA, 2004.

O coletor plano fechado é composto pelos seguintes componentes, conforme ilustrado na figura 2.8 (ABRAVA, 2008):

Figura 2.8 – Componentes básicos do coletor solar plano fechado.

Fonte: ABRAVA (2008) adaptado por DIAS (2012) .

- **Caixa externa:** confere resistência mecânica ao coletor solar, deve resistir às intempéries; protege os componentes internos e une-se à estrutura por meio de

elementos de fixação. Pode ser produzida a partir de diferentes materiais, cujos aspectos positivos e negativos são apresentados no quadro 2.10.

Quadro 2.10 – Materiais utilizados na produção de caixas externas.

Caixa	Alumínio	Aço	Plástico	Madeira envernizada
Peso	Baixo	Elevado	Médio	Elevado
Construção	Fácil	Fácil	Médio	Difícil
Consumo energético	Alto	Baixo	Médio	Baixo
Custo	Alto	Baixo	Baixo	Médio
Outros	Aumento do tempo de recuperação energética e reciclável	Raramente utilizado	Pouco utilizado	Utilizado apenas em instalações integradas no telhado.

Fonte: COMISSÃO EUROPEIA, 2004.

Em geral, o material mais utilizado na produção nacional é o alumínio que, embora tenha um custo direto mais elevado quando comparado aos outros materiais, tem menor peso específico e maior resistência ao intemperismo e corrosão atmosférica, o que garante a maior durabilidade dos componentes externos do sistema.

▪ **Isolamento térmico:** tem a função de minimizar as perdas de calor do coletor para o ambiente. Os materiais isolantes mais utilizados na indústria nacional são apresentados na tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Relação de condutividade térmica e temperatura máxima de utilização dos tipos de material para isolamento.

Material
	lã de rocha	lã de vidro	poliuretano
Condutividade Térmica (W/m.K)	0,050	0,050	0,027
Temperatura máxima utilizada (°C)	150	150	110
Espessura	Entre 30 e 60 mm	Entre 40 e 50 mm	Entre 19 e 25 mm
Observações	Sensível à umidade	Sensível à umidade	Espuma rígida

Fonte: EKOS BRASIL; VITAE CIVILIS, 2010, p. 56; REVISTA SOL BRASIL, 2011a.

As propriedades do isolamento térmico no fundo de coletores solares devem resistir às altas temperaturas de estagnação²⁶. Um material muito utilizado para essa finalidade é a lã de rocha, cujo ponto de fusão é superior a 1.000 °C. Os isolantes de lã de vidro são estáveis até 400 °C. A espuma de poliuretano, apesar de possuir a mais baixa condutividade térmica entre as opções apresentadas, suporta temperaturas de até 150 °C, sendo indicada para coletores pintados e que trabalhem em circuitos com aquecimento direto (REVISTA SOL BRASIL, 2011a).

▪ **Flauta (serpentinhas):** conduz o fluido que será aquecido. O material empregado deverá atender aos requisitos de alta condutividade térmica, resistência à corrosão e à determinada pressão de trabalho. Usualmente, utiliza-se o cobre.

▪ **Placa absorvedora (aletas):** é responsável pela absorção e transferência da energia solar para o fluido de trabalho. Em geral, cada coletor contém de oito a doze aletas, constituindo a placa absorvedora.

Cabe destacar que a eficiência no processo da transferência de calor depende tanto da condutividade térmica do material utilizado, como dos detalhes técnicos da junção das aletas à chapa absorvedora, propiciando um perfeito contato com a flauta. É importante conhecer as propriedades dos materiais selecionados, porque nem sempre é possível conseguir bons resultados de condutibilidade térmica, quando se utiliza dois ou mais metais diferentes. (EKOS BRASIL; VITAE CIVILIS, 2010). A figura 2.9 ilustra alguns modelos de aletas e placas absorvedoras.

Figura 2.9 - Modelos de placas absorvedoras e aletas.

Fonte: EKOS BRASIL; VITAE CIVILIS, 2010, p. 54.

²⁶ Temperatura de estagnação é “o termo designado para a situação em que o coletor não troca mais calor com o fluido, pois perde para o meio ambiente todo o calor que absorve. Assim a temperatura do coletor não se eleva mais” (REVISTA SOL BRASIL, 2011a, p.12).

▪ **Tinta:** têm a função de aumentar a radiação absorvida, uma vez que os materiais empregados nas aletas refletem a radiação solar. Em geral, utiliza-se uma tinta na cor preta fosca ou tinta seletiva²⁷ que suportam altas temperaturas e a ação dos raios ultravioletas.

▪ **Cobertura transparente:** tem por função permitir a passagem da radiação solar e também, manter a vedação do coletor, minimizando as perdas de calor por convecção ou radiação para o meio ambiente. A cobertura transparente pode ser em plástico ou vidro liso comum, martelado, canelado ou temperado, cujas características gerais estão apresentadas no quadro 2.11.

Quadro 2.11 – Tipos de cobertura

Tipo de Cobertura	Vidro	Plástico
Transmissão	▪ Estabilidade a longo prazo	▪ Deterioração a longo prazo
Estabilidade mecânica	▪ Estável	▪ Estável
Preço	▪ Elevado	▪ Baixo reduzido
Peso	▪ Elevado	▪ Baixo reduzido

Fonte: COMISSÃO EUROPÉIA (2004).

O vidro utilizado deve apresentar as seguintes qualidades: (a) alto índice de transmissividade; (b) transparência em torno de 90%; (c) estanqueidade à água e ao ar; (d) resistência à pressão do vento e aos choques térmicos; (e) resistência a alta umidade e a condensação. Além disso, podem ser utilizados polímeros transparentes (ex.: acrílico) desde que seja resistente à radiação ultravioleta e suporte oscilação constante de temperaturas (ABRAVA, 2008; ABNT NBR 15.747-1:2009).

A Comissão Europeia (2004) menciona a possibilidade de utilização de vidro duplo, tendo em vista o aumento do efeito estufa e a temperatura que o fluido de transferência possa atingir. Por conta disso, a cobertura de vidro duplo apresenta vantagens de uso em condições meteorológicas adversas (temperaturas baixas ou ventos fortes).

²⁷ Para obter um coletor solar eficiente, é necessário que a superfície coletora consiga absorver o máximo e refletir o mínimo da radiação solar. Portanto, deve ser seletiva às características de radiação do comprimento de onda (KALLWELLIS, 2010).

▪ **Vedação:** exerce a função de manter o sistema isento da umidade externa. Utilizam-se tipos de borracha ou silicone.

2.2.2.2 Coletores planos abertos

Os coletores planos abertos são indicados para aquecimento de água em piscinas, cuja temperatura máxima da água aquecida é em torno de 40°C. Por sua vez, apresenta ótimo desempenho para baixa temperatura (REDE BRASIL DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR, 2006). As figuras 2.10 e 2.11 apresentam exemplos desse tipo de coletor solar.

Figuras 2.10 e 2.11 – Exemplos de coletores solares abertos.

Fonte: REDE BRASIL DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR, 2006 , p. 4.

O quadro 2.12 apresenta os principais aspectos positivos e negativos da tecnologia de coletores planos abertos.

Quadro 2.12 – Aspectos positivos e negativos da utilização de coletores planos abertos.

Aspectos positivos	Aspectos negativos
<ul style="list-style-type: none"> ▪ A ausência de cobertura reduz o custo final do coletor solar. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Devido a seu baixo desempenho é necessário instalar uma superfície de coletores superior em relação a outros tipos de coletores.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disponível para diversas formas de telhado, ou seja, a instalação destes coletores pode ser adaptada à curvas suaves. 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Solução estética para telhados em alumínio. 	

Fonte: COMISSÃO EUROPEIA, 2004.

Em geral, os coletores planos abertos são fabricados em material polimérico, predominantemente na cor preta, como polipropileno e EPDM²⁸, resistentes ao cloro, às intempéries e à oxidação. Devido o fato do coletor plano aberto não possuir cobertura transparente e nem isolamento térmico, seu custo é inferior em comparação com o coletor plano fechado.

2.2.2.3 Coletor com tubo evacuado

O coletor de tubo evacuado consiste em um conjunto de tubos verticais com parede dupla de vidro reforçado. O vácuo formado nesse espaço evita que o sistema perca calor para o ambiente externo por condução. A parede interna é revestida com um material de alta capacidade de absorção de radiação solar (FARIA, 2009), conforme ilustrado na figura 2.12.

Figura 2.12 - Componentes dos coletores solares com tubos evacuados.

Fonte: DIAS (2012).

O calor captado pelo coletor de tubo evacuado pode ser transferido para a água de dois modos:

- **Diretamente:** a água a ser consumida circula por dentro dos tubos, onde será aquecida;

²⁸ EPDM significa *Ethylene Propylene Diene Monomer*, traduzido para Monômero Etileno-Propileno-Dieno.

▪ **Indiretamente:** um tipo de gás movimenta-se por dentro do tubo, através de um ciclo de evaporação e condensação, transferindo o calor para a água acumulada no reservatório acoplado aos sistemas.

Os aspectos positivos e negativos desta tecnologia são resumidos no quadro 2.13:

Quadro 2.13 – Aspectos positivos e negativos da utilização de coletores com tubos evacuados.

Aspectos positivos	Aspectos negativos
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução na perda de calor por condução no interior dos tubos a vácuo; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Risco de perda do vácuo com entrada de ar no tubo, reduzindo significativamente a eficiência do sistema;
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vento e chuva têm efeito mínimo na eficiência dos coletores; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maior dificuldade para reposição e manutenção dos componentes importados;
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maior rendimento na captação da energia solar; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Falta de certificação de órgãos brasileiros;
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Atinge elevadas temperaturas, possibilitando a utilização em sistemas de ar condicionado e produção de vapor; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Custo elevado, com poucos fornecedores no Brasil;
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menor área necessária para instalação dos coletores. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Instalação com inclinação mínima de 25.º

Fonte: FARIA, (2009); COMISSÃO EUROPEIA, (2004).

Os coletores com tubo evacuado são recomendáveis em regiões com pouca radiação, em clima frio ou quando há necessidade de atingir temperaturas acima de 100 °C. Por exemplo, a instalação de SAS com tubos evacuados é mais freqüente na região Sul em comparação com as demais regiões do Brasil.

2.2.2.4 Painel solar termodinâmico

O painel solar termodinâmico, ilustrado na figura 2.13, é uma tecnologia baseada no princípio de *Carnot* - 2ª Lei da Termodinâmica²⁹, que consiste em duas fontes térmicas de diferentes temperaturas que se interagem. Desse modo, a energia tende a dividir-se igualmente permitindo que o sistema alcance um equilíbrio térmico (PASSOS, 2003).

²⁹ PASSOS, J. C. Carnot e a Segunda Lei da Termodinâmica. **Revista de Ensino de Engenharia – ABENGE**, Passo Fundo, p.01-10, 2003.

Figura 2.13 – Painel solar termodinâmico.

Fonte: AJUSTEC, s/d. p.12.

Os principais aspectos positivos e negativos dos painéis solares termodinâmicos são apresentados no quadro 2.14:

Quadro 2.14 – Aspectos positivos e negativos da utilização de solares termodinâmicos.

Aspectos positivos	Aspectos negativos
<ul style="list-style-type: none"> ▪ As placas podem ser instaladas acima, abaixo ou nas laterais do reservatório térmico, não sendo necessária a utilização de sistema de bombeamento (bomba d'água); ▪ Dispensa do uso de válvula anticongelamento elétrico porque as placas trabalham com circulação de gás refrigerante a baixa temperatura (-30 °C); ▪ Flexibilidade no posicionamento das placas, tanto na inclinação como na orientação. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maior dificuldade para reposição e manutenção dos componentes importados; ▪ Falta de certificação de órgãos brasileiros; ▪ Custo elevado, com poucos fornecedores e instaladores no Brasil.

Fonte: AJUSTEC, s/d.

O sistema é composto por um trocador de calor e painéis solares planos, os quais asseguram a captação da energia por meio da radiação solar direta e difusa, ar exterior por convecção natural, água da chuva e efeito do vento por meio de um fluido refrigerante. A diferença de temperatura provocada pelos agentes externos garante que o fluido refrigerante se evapore no interior do painel solar. A ausência de vidro no painel permite aumentar as trocas térmicas por convecção (FERNANDES, 2008).

Após a passagem pelo painel, o fluido refrigerante é aspirado pelo componente mecânico do sistema, o compressor, o qual eleva a sua temperatura e pressão; por sua vez é transmitida ao circuito de água através de um trocador de calor. Antes do fluido refrigerante retornar ao painel solar é necessário que ocorra uma redução de pressão para atingir novamente o seu estado líquido, completando assim o ciclo (FERNANDES, 2008).

2.2.2.5 Fixação dos coletores solares

Os coletores solares, em geral, são fixados de duas maneiras: amarrados em caibros e vigas do telhado com um fio de cobre, ou quando necessário, por meio de suportes convencionais produzidos de alumínio ou em aço com proteção contra corrosão. Para definir o modelo de suporte que seja adequado aos coletores e à área disponível para instalação é necessário atender os seguintes aspectos (ABNT NBR 15.569:2008):

- O suporte deverá suportar as cargas de vento da localidade onde ele será instalado;
- Ser resistente a intempéries e corrosão;
- Ser de fácil montagem;
- Seguir as especificações de montagem dos coletores fornecidas pelo fabricante.
- Verificar se a estrutura do local de instalação suportará o peso total do conjunto (estruturas de suporte, coletores solares e acessórios hidráulicos).

Constatou-se que no mercado brasileiro não há opções de dispositivos de fixação com função de integrar o coletor solar como elemento construtivo da edificação. Apenas em casos específicos são fabricados sob medida.

2.2.2.6 Disposição dos coletores solares

Os coletores solares podem ser instalados na posição vertical ou horizontal (figura 2.14), competindo ao projetista determinar qual geometria de coletores será mais adequada à instalação.

Figura 2.14 - Coletor vertical e horizontal.

Fonte: REDE DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR, 2006, p. 228.

Cabe destacar que os coletores solares devem ser instalados sempre na posição vertical das tubulações internas, realizando-se as interligações hidráulicas entre eles por meio dos tubos laterais. Desse modo, a flauta (tubos da serpentina) dos coletores estará sempre na posição vertical (SOLETROL, s/d).

2.2.2.7 Associação hidráulica

Para garantir a eficiência do funcionamento do SAS é necessário estudar as possíveis formas de interligação dos coletores com os demais componentes, visando a correta distribuição hidráulica e o menor comprimento das tubulações. Entretanto, observa-se que muitos projetistas não elaboram suas instalações com equilíbrio hidráulico correto. Uma das orientações é obter o equilíbrio hidráulico por meio do comprimento equidistante entre a tubulação de água quente e fria, conforme apresentado na figura 2.15. Entretanto, quando isso não for possível, recomenda-se utilizar uma válvula de balanceamento ou uma válvula de restrição de vazão (EKOSBRASIL; VITAE CIVILIS, 2010).

continua

conclusão

Figura 2.15 - Equilíbrio hidráulico de baterias de coletores.
 Fonte: ABRAVA, 2008. p. 93.

Observa-se que a forma correta de interligação entre baterias de coletores utilizou o princípio do *retorno invertido*, em que todos os trechos (em vermelho), entre os pontos A e B, possuem a mesma distância. Já na forma incorreta, o fluido percorre distâncias diferentes em cada bateria. O quadro 2.15 apresenta as principais características de associações para coletores solares.

Quadro 2.15 - Características das associações série e paralelos para coletores solares.

Tipo	Características	Desenho esquemático
Associação em série	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Máximo 4 coletores (limitado pelo rendimento do coletor); ▪ instalação simples; ▪ Baixo rendimento em função da queda de eficiência dos coletores; ▪ Maior perda de carga; ▪ A elevação de temperatura pode ser maior que 100%.
Associação em paralelo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Máximo 4 coletores (limitado pelo arranjo hidráulico equilibrado); ▪ Requer mais detalhe na instalação; ▪ Rendimento depende do tipo de coletor; ▪ Menor perda de carga; ▪ A elevação de temperatura é da ordem de 50%.

Fonte: EKOSBRASIL; VITAE CIVILIS, 2010.

Nos casos de instalações de médio e grande porte, recomenda-se a associação mista (série-paralela), de modo a alocar o número de coletores necessários à instalação na área física disponível para instalação do sistema.

2.2.3 Reservatório térmico

De acordo com a NBR 10.185 - reservatórios térmicos para líquidos destinados a sistemas de energia solar: determinação de desempenho térmico. (ABNT, 1988b) o reservatório térmico é o “conjunto constituído por um tanque e demais componentes destinados ao armazenamento de energia térmica”. Os reservatórios térmicos podem ser classificados, conforme apresentado no quadro 2.16:

Quadro 2.16 – Classificação dos tipos de reservatórios térmicos.

Tipo	Classificação
Posicionamento físico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Horizontal; ▪ Vertical.
Pressão de trabalho	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alta pressão; ▪ Baixa pressão.
Funcionamento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desnível; ▪ Nível com caixa de água fria.
Troca de calor	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Circuito direto (sem trocador de calor); ▪ Circuito indireto (com trocador de calor).

Fonte: ABRAVA, 2008.

A figura 2.16. ilustra os componentes básicos de um reservatório térmico:

Figura 2.16.– Componentes básicos de um reservatório térmico.

Fonte: DIAS, 2012.

▪ **Corpo interno:** têm a função de proporcionar resistência mecânica para suportar a pressão do sistema. Por estar em contato direto com a água aquecida, o corpo interno deve ser fabricado com materiais resistentes à corrosão, tais como cobre ou aço inoxidável nos reservatórios fechados ou o polipropileno e fibras de vidro nos

reservatórios abertos. A tabela 2.3 apresenta a relação de pressão de trabalho do reservatório em função do material utilizado.

Tabela 2.3 – Relação de pressão de trabalho (metro de coluna d'água – m.c.a.) em função do material utilizado para fabricação do reservatório térmico.

Material	Pressão de Trabalho
Termoplástico	2 m.c.a.
Cobre	2 m.c.a.
Aço Inoxidável (baixa pressão)	5 m.c.a.
Aço Inoxidável (alta pressão)	40 m.c.a.

Fonte: SOLETROL, s/d.

Cabe destacar que o material utilizado deverá suportar as variações de pressão, decorrentes do aumento da temperatura da água (expansão) e das oscilações na rede de abastecimento. A espessura da parede do corpo interno varia proporcionalmente a pressão de trabalho prevista.

▪ **Isolante térmico:** sua função é conservar a água quente, minimizando as perdas de calor para o meio externo. Quanto menor a condutibilidade térmica do isolante, melhor sua eficiência. Atualmente, o material isolante mais utilizado é o poliuretano expandido, com condutividade térmica igual a 0,026 W/m.K.

▪ **Corpo externo:** é responsável pelo acabamento externo do reservatório e pela proteção do isolamento térmico contra as intempéries, danos no transporte ou instalação. Os materiais utilizados são alumínio, aço galvanizado ou aço carbono pintado. Não é recomendável a utilização de lona plástica.

▪ **Sistema auxiliar de aquecimento:** tem como objetivo garantir a complementação do aquecimento de água quente nos períodos de baixa insolação ou quando ocorrer consumo excessivo, podendo ser um sistema a gás ou elétrico. A fonte de energia auxiliar mais utilizada é o aquecedor elétrico, devido ao seu baixo investimento inicial e à facilidade de ser controlado por equipamentos eletrônicos. O sistema auxiliar de aquecimento elétrico é constituído por uma ou mais resistências elétricas blindadas, instaladas no reservatório térmico em contato com a água armazenada. O acionamento dessas resistências pode ser controlado automaticamente por meio de um termostato, ou manualmente, pelo próprio usuário. Em instalações de habitações

de interesse social (HIS) é comum a utilização da resistência do próprio chuveiro elétrico, denominado como sistema híbrido.

▪ **Suporte:** tem a finalidade de proporcionar sustentação ao reservatório térmico sobre os apoios ou suportes em que o mesmo seja instalado. São fabricados em aço com pintura epóxi ou revestimento em termoplástico.

2.2.3.1 Disposição dos reservatórios térmicos

Os reservatórios podem ser fabricados para instalação na posição horizontal ou vertical, conforme ilustrado na figura 2.17.

Figura 2.17 - Disposição vertical ou horizontal do reservatório
Interferência nas camadas de estratificação da água armazenada no reservatório.

Fonte: EKOS BRASIL; VITAE CIVILIS, 2010, p. 61.

Do ponto de vista térmico recomenda-se à instalação de reservatórios verticais, pois a estratificação³⁰ ocorre na horizontal em níveis decrescentes de temperatura em função da densidade da água. Cabe destacar que temperatura da água à entrada do coletor interfere diretamente no rendimento do coletor. Quanto menor for esta temperatura, maior o desempenho final da instalação solar. Desse modo, a estratificação do reservatório beneficia o desempenho térmico do SAS.

Entretanto, muitas vezes o projeto arquitetônico não comporta tal configuração adotando-se a posição horizontal. Os reservatórios fabricados com materiais maus

³⁰ A estratificação é um fenômeno natural que consiste na formação de camadas (estratos) da água de em decorrência das diferenças de massa específica da água., sendo que o volume de água quente (menos densa) concentra-se na parte superior do reservatório térmico e a água mais fria (mais densa) ocupará a parte inferior (ABRAVA, 2008).

condutores (como é o caso dos reservatórios plásticos) também favorecem a estratificação (ABRAVA, 2008).

2.2.3.2 Associação hidráulica

As instalações de médio e grande porte demandam o armazenamento de grandes volumes de água quente, sendo necessária a utilização de mais de um reservatório térmico. A seguir são apresentados os diferentes tipos de associação hidráulica em uma instalação de SAS.

▪ Associação em Paralelo

Por se tratar de uma associação em paralelo, as temperaturas dos reservatórios térmicos devem ser iguais. Para que isso ocorra, os trechos de tubulação entre os mesmos devem apresentar comprimentos iguais, garantindo uma equalização do fluxo de entrada e saída de água e, conseqüentemente o equilíbrio hidráulico entre os reservatórios térmicos. Entretanto, observa-se o aumento do número de conexões hidráulicas, tubulações e a dificuldade de montagem à medida que se acrescenta o número de reservatórios térmicos associados, conforme ilustrado na figura 2.18.

Figura 2.18 - Associação em paralelo de dois e de três reservatórios térmicos.

Fonte: ABRAVA, 2008, p. 84.

Além disso, esse tipo de interligação pode ocorrer situações inconvenientes como: consumir mais água quente de um reservatório térmico e menos de outro pelo fato da ligação hidráulica não ficar exatamente simétrica; necessidade de habilitação dos dois aquecimentos complementares; dificuldade de equalização e em instalações com três ou mais reservatórios térmicos (UNIVERSIDADE DO SOL, 2005). Por esses motivos expostos, conclui-se que interligações em paralelo deverão ser utilizadas em casos específicos.

▪ Associação em Série

Em geral, esse tipo de associação é utilizado para instalações de médio e grande porte, pois favorece a estratificação térmica da água e facilita a instalação (figura 2.19).

Figura 2.19 - Associação em série de dois reservatórios térmicos.

Fonte: ABRAVA, 2008, p. 85.

Tendo em vista o correto funcionamento desse tipo de instalação, recomenda-se que os diâmetros das tubulações sejam iguais e que sejam dimensionadas de modo que atendam o pico de consumo (REDE DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR, 2006; ABRAVA, 2008).

2.2.4 Trocador de Calor

O trocador de calor é um equipamento cuja função é retirar o calor existente no ambiente e transmitir essa energia para um sistema de aquecimento por meio de um circuito fechado. Os fluidos de trabalho permanecem separados das paredes de uma serpentina e a transferência de calor ocorre continuamente, conforme exemplificado na figura 2.20 (TORAIWA et al., 2011).

Figura 2.20 – Desenho esquemático de um sistema indireto.
 Fonte: TORAIWA et.al, 2011, p. 14.

Para que o funcionamento do trocador de calor seja pleno, é necessário dimensioná-lo corretamente. Dessa forma, devem-se considerar os seguintes fatores (SUQUET, 2006):

- Tipo de trocador de calor;
- Características do fluido de transferência de calor (calor específico, viscosidade e densidade);
- Taxa de fluxo;
- Compatibilidade com os materiais de outros componentes do circuito hidráulico;
- Temperaturas interna e externa para cada fluido.

Para escolha do tipo de trocador de calor devem ser considerados a qualidade e o volume de água do sistema que circulará por seu interior, principalmente se for água de piscina tratada (EKOS BRASIL; VITAE CIVILIS, 2010).

O quadro 2.17 apresenta uma descrição geral dos tipos de trocadores de calor existentes no mercado atual, enquanto que o quadro 2.18 sintetiza os aspectos positivos e negativos dos tipos de trocador de calor.

Quadro 2.17 – Tipos de trocadores de calor do SAS.

Tipo de trocador de calor	Características gerais
<p>Duplo tubo</p>	<ul style="list-style-type: none"> Composto por dois tubos concêntricos, com conexões apropriadas nas extremidades de cada tubo para dirigir os fluidos de uma seção reta para outra. Neste tipo de trocador, enquanto um fluido circula pelo tubo interno, outro flui pelo espaço anular, e a troca de calor ocorre através da parede do tubo interno
<p>Casco e tubo</p>	<ul style="list-style-type: none"> Consiste em um casco cilíndrico, contendo um conjunto de tubos, instalados paralelamente ao eixo longitudinal do casco. Os tubos são presos em suas extremidades a placas perfuradas denominadas espelhos e a cada furo corresponde um tubo do feixe. No trocador, um dos fluidos escoará pelo interior dos tubos e outro por fora dos tubos.
<p>Serpentinas</p>	<ul style="list-style-type: none"> Formada por uma ou mais serpentinas (de tubos circulares) ordenadas em uma carcaça. A transferência de calor associada a um tubo espiral é mais alta que para um tubo duplo.
<p>Placas</p>	<ul style="list-style-type: none"> Consiste em um suporte, em que placas independentes de metal, sustentadas por barras, são presas por compressão, entre uma extremidade móvel e outra fixa. Entre placas adjacentes formam-se canais por onde os fluidos escoam. As placas são fabricadas por prensagem e apresentam superfícies corrugadas, fornecendo mais resistência à placa e causando maior turbulência aos fluidos em escoamento.

Fonte: Adaptado de TORAIWA et. al (2011, pg. 14-17).

Quadro 2.18 – Relação dos aspectos positivos e negativos dos tipos de trocadores de calor.

Tipos	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Trocador independente (casco e tubo, placas)	<ul style="list-style-type: none"> Alto rendimento de troca, tornando um sistema mais eficiente; Desvinculado do volume do reservatório. 	<ul style="list-style-type: none"> Maior perda térmica do circuito Custo mais elevado.
Trocador embutido no reservatório térmico (duplo tubo e serpentinas)	<ul style="list-style-type: none"> Baixo custo; Menor perda térmica do circuito. 	<ul style="list-style-type: none"> Utilizado somente em pequenas instalações; Baixo rendimento.

Fonte: Adaptado de SUQUET (2006).

2.2.5 Sistema hidráulico

O sistema hidráulico é composto basicamente por tubos e conexões, motobomba hidráulica, vaso de expansão conforme apresentado a seguir:

▪ **Tubos e conexões:** são responsáveis por interconectar os componentes e transportar água aquecida. O material utilizado deverá ser capaz de suportar o fluido na máxima temperatura e pressão encontrada no SAS, de modo a não ocasionar vazamentos, deformações ou degradação. Os tubos e as conexões são geralmente fabricados em cobre, face à sua resistência à corrosão e à boa condutividade térmica. A tabela 2.4 apresenta dados sobre condutividade térmica dos materiais utilizados na fabricação dos tubos e conexões:

Tabela 2.4 – Condutividade térmica dos materiais utilizados na fabricação dos tubos e conexões.

Material	Condutividade Térmica k (W /m. °C)
Aço carbono zincado a quente (aço galvanizado)	44,9
Cobre	339
Polietileno reticulado (PEX)	0,43
Poli (cloreto de vinila) clorado (CPVC)	0,138

Fontes: ARRUDA, 2004; <http://www.geberit.pt>.

Cabe destacar que o isolamento das tubulações deve ser instalado para minimizar as perdas, independentemente do tipo de material escolhido. Em áreas externas, recomenda-se utilizar uma camada aluminizada protegendo o material isolante (ex. polietileno) do intemperismo e garantindo uma maior durabilidade do material. Nos casos em que a tubulação está embutida na parede da edificação, deve-se também considerar o isolamento de modo a reduzir as perdas térmicas (REVISTA SOL BRASIL, 2011a).

▪ **Válvulas e registros:** são dispositivos utilizados para controle, bloqueio, manutenção e desvio de fluxo do fluido circulante de um sistema hidráulico. O quadro 2.19 apresenta a relação de válvulas e registros e suas respectivas funções.

Quadro 2.19 – Relação de válvulas e registros e suas respectivas funções.

Componentes		Função
Registro Globo (Válvula de regulação)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Controlar e regular a vazão de fluidos.
Registro Gaveta (Válvula de bloqueio)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bloquear a passagem do fluido
Registro Esfera (Válvula de bloqueio)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bloquear a passagem do fluido
Válvula de retenção	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não permitir o movimento reverso da água.
Válvula eliminadora de ar (Válvula ventosa ou Respiro)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permitir a saída de ar do sistema.
Válvula quebra-vácuo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permitir a entrada de ar no sistema.
Válvula alívio de pressão	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aliviar automaticamente a pressão do SAS caso a pressão máxima seja atingida.

Fonte: OURO FINO, 2010; REDE BRASIL DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR, 2006.

▪ **Motobomba hidráulica:** sua principal função é promover a circulação forçada do fluido de trabalho entre os coletores e o reservatório térmico. O corpo hidráulico que abriga o rotor da bomba hidráulica pode ser fabricado em ferro fundido, aço inoxidável, bronze ou polímero. O motor elétrico é responsável pelo acionamento do rotor sendo dimensionado conforme a potência necessária para suprir as perdas de carga e os desníveis da instalação.

▪ **Vaso de expansão:** sua função é compensar as trocas de volume do fluido de trabalho decorrentes da dilatação térmica, reduzindo assim a pressão do sistema por meio da válvula de segurança quando o fluido se esquentar. A pressão de resposta da válvula de segurança deve ser entre 4 a 6 bar (COMISSÃO EUROPÉIA, 2004).

Existem recipientes de expansão disponíveis em tamanhos padronizados de 10, 12, 18, 25, 35 e 50 litros.

2.2.6 Sistema elétrico e de controle

O sistema elétrico e de controle é composto por sensores de temperatura, termostato, fluxostato, manômetro, controle digital de temperatura (CDT) e quadro de comando do sistema, conforme apresentado a seguir.

▪ **Sensores de temperatura:** são instrumentos utilizados para medição da temperatura da água em pontos específicos do SAS. Os termopares ou par termoeletrico são os dispositivos mais utilizados, sendo constituídos de dois condutores metálicos e distintos, puros ou homogêneos. Em uma de suas extremidades os condutores são unidos e soldados, essa extremidade denomina-se junção de medição ou junção quente, a outra extremidade, aberta, denomina-se junção de referência, onde são feitas as interligações.

O princípio de funcionamento é baseado no “efeito *Seebeck*”, que consiste em produção de uma diferença de potencial (tensão elétrica) entre duas junções de condutores (ou semicondutores) de materiais diferentes quando suas extremidades são submetidas a diferentes temperaturas gerando uma força eletromotriz (FEM) da ordem de mega volts - Mv (CALLEN, 1985). Existem diversos tipos de termopares disponíveis no mercado, desde os modelos com a junção a descoberto (baixo custo) com tempo de resposta rápido, até aos modelos que estão incorporados em sondas.

Além disso, os termopares têm uma grande variedade de aplicações, conforme apresentado na tabela 2.5. Para escolha dos termopares deve-se ponderar qual o tipo mais adequado para a aplicação desejada segundo suas características, tais como faixa de temperaturas, exatidão e confiabilidade das leituras.

Tabela 2.5 – Tipos e características gerais de termopares.

Tipo	Composição	Temperatura	Características
T	Cobre/Cobre-Níquel (+)/(-)	-200 a 370°C	<ul style="list-style-type: none"> Podem ser usados em atmosferas oxidantes, redutoras, inertes e no vácuo. Adequados para medições abaixo de zero grau. Apresentam boa precisão na sua faixa de utilização.
J	Ferro/Cobre-Níquel (+)/(-)	-40 a 760°C	<ul style="list-style-type: none"> Utilizados em atmosferas oxidantes, redutoras, inertes e no vácuo. Não deve ser usado em atmosferas sulfurosas e não se recomenda o uso em temperaturas abaixo de zero grau. Apresentam baixo custo.
E	Níquel-Cromo/Cobre-Níquel (+)/(-)	-200 a 870°C	<ul style="list-style-type: none"> Próprios para atmosferas oxidantes e inertes. Em ambientes redutores ou vácuo perdem suas características termoeletrônicas. Adequados para uso em temperaturas abaixo de zero grau.
K	Níquel-Cromo/Níquel-Alumínio (+)/(-)	-200 a 1260°C	<ul style="list-style-type: none"> Recomendáveis em atmosferas oxidantes ou inertes. Ocasionalmente podem ser usados abaixo de zero grau. Não devem ser utilizados em atmosferas redutoras e sulfurosas. Seu uso no vácuo é por curto período de tempo.
S R	Platina-10% Ródio/Platina (+)/(-) Platina-13% Ródio/Platina	0 a 1600°C 0 a 1600°C	<ul style="list-style-type: none"> Recomendáveis em atmosferas oxidantes ou inertes. Não devem ser usados abaixo de zero grau, no vácuo, em atmosferas redutoras ou com vapores metálicos. Apresentam boa precisão em temperaturas elevadas.
B	Platina-30% Ródio/Platina-6% Ródio (+)/(-)	600 a 1700°C	<ul style="list-style-type: none"> Recomendável em atmosferas oxidantes ou inertes. Não devem ser usados abaixo de zero grau, no vácuo, em atmosferas redutoras ou atmosferas com vapores metálicos. Indicados para altas temperaturas que os tipos S/R.
N	Níquel-Cromo-Silício (+) Níquel-Silício (-)	-200 a 1260°C	<ul style="list-style-type: none"> Excelente resistência a oxidação até 1200°C, curva FEM x Temp., similar ao tipo K, porém possui menor potência termoeletrônica Apresenta maior estabilidade.

Fonte: Disponível em: <http://www.alutal.com.br/> Acesso em: 20 out. 2011.

De acordo com a NBR 15.569 (ABNT, 2008), o sensor de temperatura do coletor solar deve ser instalado conforme especificações, manual de fabricante e projeto, ou na ausência desta especificação, ser instalado a no máximo 5 cm do coletor solar, na tubulação de saída para o reservatório. Já o sensor de temperatura do reservatório térmico deverá ser instalado a no máximo 20 cm do reservatório térmico, na tubulação de saída para os coletores.

- **Termostato:** sua função é permitir a abertura ou fechamento de um circuito elétrico, conforme um ajuste pré-definido de temperatura (ABRAVA, 2008).

▪ **Fluxostato:** permite a abertura ou fechamento de um circuito elétrico quando ele acusa a existência ou não de fluxo de algum tipo de fluido na tubulação em que foi instalado. Este dispositivo é utilizado em anéis de recirculação para prumadas de água quente e aplicado em conjunto ao termostato

▪ **Controlador digital de temperatura (CDT):** é responsável pelo controle do funcionamento da bomba hidráulica do sistema de aquecimento solar, permitindo configurações para acionar e desacionar o equipamento.

▪ **Manômetro:** é o instrumento utilizado para mediação de pressão, sendo usualmente aplicado em instalações de aquecimento solar de grande porte com objetivo de acompanhar e auxiliar nas regulagens de operação do sistema (ABRAVA, 2003).

▪ **Quadro de comando do sistema:** deve ser instalado em local de fácil acesso e visualização para possíveis verificações de temperatura ou operação do sistema. Cabe destacar que os controles, sensores e válvulas devem ser identificados de acordo com sua função (CEMIG, 1995).

2.2.7 Sistema de proteção anticongelamento

Nos locais que apresentem condições de congelamento da água, deve-se prever a proteção adequada do SAS. Podem ser utilizadas, entre outras, as seguintes proteções conforme apresentado no quadro 2.20:

Quadro 2.20 – Tipos de sistemas de proteção anticongelamento.

Tipo	Descrição
▪ Drenagem	▪ Sistema que prevê a drenagem do fluido de trabalho;
▪ Recirculação	▪ Sistema que promove a circulação forçada do fluido de trabalho;
▪ Aquecimento	▪ Sistema que prevê o aquecimento através de resistência de baixo consumo para produzir calor no coletor e tubulação;
▪ Materiais tolerantes ao congelamento	▪ Materiais que podem ser submetidos a ciclos de congelamento e degelo enquanto preenchidos com água.

Fonte: NBR 15.569 (ABNT, 2008).

Para identificar a necessidade do uso de proteções anticongelamento, deve-se avaliar o histórico das condições climatológicas da região por meio de consultas em

instituições meteorológicas³¹. No *Código Técnico de la Edificación* (CTE), aprovado pelo Real Decreto 314/2006 do governo espanhol, especificamente no item 3.2.2.2³² descreve que nos casos em que há registros de temperaturas inferiores a 5°C, será indispensável à utilização de algum tipo de sistema de proteção anticongelamento.

O anticongelante mais utilizado é o glicol, e seus derivados etilenoglicol e propilenoglicol. Estes produzem um aumento da viscosidade do fluido, um menor calor específico misturado com a água e reduzem a condutividade térmica do fluido. Entretanto, a adição de glicol ao fluido aumenta o efeito corrosivo da água, sendo necessária a adição de inibidores de acordo com as características destes para os materiais específicos da instalação (COMISSÃO EUROPEIA, 2004).

2.2.8 Sistema de anel de recirculação

O sistema de anel de recirculação consiste em uma tubulação que conecta o reservatório térmico até o seu ponto de consumo, retornando para o reservatório térmico. Além disso, utiliza-se uma motobomba que é acionada por um termostato ligado em série com um fluxostato. Dessa forma, a bomba só funcionará quando a temperatura da água estiver inferior do valor programado no CDT e o fluxostato estiver fechado identificando consumo (CEMIG, 1995).

A principal finalidade desse sistema é evitar o tempo de espera para banhos em pontos de consumo distantes do reservatório térmico. Tal tipo de solução aumenta as perdas térmicas do sistema e o custo global da instalação, porém evita o desperdício de água (CBCS, 2011). Em geral, os anéis de recirculação são usados em habitações multifamiliares com SAS coletivo. Porém, é recomendável que sejam instalados em habitações unifamiliares visto que otimizam o tempo de espera do banho e, conseqüentemente, reduzem o consumo de água.

³¹ <http://www.inmet.gov.br/>

³² Item 3.2.2.2 - Protección contra helada, sección “HE 4Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria” do ESPAÑA.

2.2.9 Sistema pressurizado

De acordo com a NBR 15.569 (ABNT, 2008), o sistema deve ser corretamente protegido para pressões que superem 0,8 MPa (8kgf/cm²) e temperaturas acima de 80°C. Deve-se admitir para a determinação das vazões de projeto (tabela 2.6), o funcionamento não simultâneo de todos os pontos de utilização instalado a jusante do trecho considerado.

Tabela 2.6 – Classificação das vazões das duchas.

Vazão (litros/minuto)	Classificação	Observações
< 3	Extremamente desconfortável	▪ É a vazão que ocorre nos chuveiros elétricos de potência baixa
3 a 4	Conforto reduzido	▪ É a vazão padrão para a grande dos chuveiros elétricos de potência média
4 a 5	Vazão razoável	▪ É obtida por chuveiros elétricos de potência alta ou aquecedores centrais com duchas de vazão controlada. É vazão indicada para residências de padrão médio.
5 a 6	Conforto bom	▪ É vazão adotada nas aplicações residenciais
6 a 8	Conforto ótimo	▪ Comum em residências de padrão médio e alto. ▪ Dependendo da pressão, é necessária a instalação de dispositivos de controle de vazão.
8 a 10	Extremamente confortável	▪ São vazões aceitáveis, porém o tamanho do SAS pode ficar muito grande.
> 10	Vazão exagerada	▪ Desperdício de água. Se o tamanho do sistema não for compatível, o consumo de energia no sistema complementar será muito alto.

Fonte: SOLETROL, s/d.

De acordo com relatos de experiências obtidos pela Universidade do Sol (2005), nem sempre a pressurização mecânica (artificial) de sistemas hidráulicos prediais é a solução mais adequada para atender o nível de conforto exigido pelo usuário. Em geral, o projetista pode substituir o sistema pressurizado propondo a elevação do reservatório de água em torno de 50 cm ou, no máximo, um metro.

Entretanto, caso seja definido a instalação de um sistema pressurizado, em razão do atendimento às exigências do usuário ou de viabilização da instalação do SAS, é necessário cumprir os seguintes parâmetros (OURO FINO INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA, 2010; UNIVERSIDADE DO SOL, 2005):

- A saída para consumo deverá possuir, no lugar do respiro, o mesmo mecanismo utilizado no cavalete (ventosa e válvula de retenção vertical sem anel de borracha) e um registro esfera para ser usado na ocasião de drenagem do sistema;
- Este sistema só funciona bem a partir de uma pressão de trabalho mínima de cinco m.c.a. (0,5 kgf/cm²) contínua na rede de alimentação;
- Toda tubulação deve ser própria de água quente;
- Deve-se utilizar um único pressurizador instalado a jusante (antes) do reservatório térmico, seguindo as especificações de instalação do seu fabricante. A rede de água quente e água fria devem estar sob a mesma pressão.

A instalação do sistema pressurizado se diferencia dos reservatórios de baixa pressão apenas no que se refere ao respiro, sendo assim, substituído por um conjunto de válvulas (eliminadora de ar, de segurança, de sob pressão e de retenção vertical sem anel de borracha). Esses componentes têm a função de eliminar vapor da linha e aliviar a pressão no reservatório, conforme ilustrada na figura 2.21

Figura 2.21 – Esquema simplificado de sistema pressurizado.
Fonte: DIAS, 2012.

O sistema pressurizado pode funcionar por termossifão ou ser bombeado. O uso do pressurizador não interfere na condição de circulação de água entre coletor e reservatório térmico (OURO FINO INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA, 2010).

2.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO 2

Os coletores solares foram introduzidos no mercado brasileiro há mais de 40 anos e, apesar das iniciativas relevantes para controlar a qualidade dos componentes do sistema, as normas nacionais que orientam o projeto do SAS apenas foram divulgadas nos últimos cinco anos.

Embora o Brasil tenha um significativo potencial para o aproveitamento solar no aquecimento de água, as políticas públicas para incentivo do uso e financiamento do SAS foram propulsadas com a crise no setor energético em 2011, e ganharam impulso na última década.

Importantes iniciativas dos órgãos governamentais, associações de classe e da sociedade civil, tem tido êxito quanto à divulgação do SAS, combate da não conformidade de componentes e estabelecimento de níveis de desempenho do SAS. Porém ainda há necessidade de ações voltadas à capacitação de profissionais de projeto; o SAS envolve várias disciplinas e requer complementação à formação de profissionais atuantes nas áreas de engenharia e arquitetura para que o sistema alcance sua eficiência máxima em cada aplicação.

Cabe ressaltar que os projetistas são, entre outros, agentes promotores dos benefícios que a tecnologia de SAS pode propiciar ao usuário, que inclui o conforto e economia significativa no valor gasto com energia elétrica. É importante que o profissional busque garantir a qualidade do projeto e da instalação de SAS. Sendo assim, a organização sistemática de informações contribui no fornecimento de subsídios técnicos para elaboração do projeto otimizado.

Este capítulo buscou documentar, de modo abrangente, as características técnicas e operacionais dos componentes integrantes do SAS. Tais informações permitem que o projetista ou o arquiteto tenha um conhecimento prévio do funcionamento do

sistema de aquecimento solar. Esse conhecimento é importante porque, uma vez considerado nas fases iniciais do projeto básico reduz os riscos e incertezas para a tomada de decisão. Na fase de detalhamento do projeto, esse conhecimento é importante ao arquiteto para as compatibilizações dos projetos de várias disciplinas e integração do SAS à edificação. Como resultado tem-se a minimização dos problemas técnicos, maximização da eficiência do sistema, impacto positivo na redução dos custos no uso e operação do SAS e, conseqüentemente, a diminuição do consumo de energia elétrica para o aquecimento de água.

CAPÍTULO 3

REQUISITOS DE DESEMPENHO PARA O SAS

3. REQUISITOS DE DESEMPENHO PARA O SAS.

O presente capítulo reúne os requisitos básicos de desempenho do SAS, classificados conforme estrutura descrita na NBR 15.575-1 (ABNT, 2010, p.8) e ilustrados no quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Classes de requisitos de desempenho de SAS.

Segurança	Habitabilidade	Sustentabilidade
Segurança estrutural	Estanqueidade	Durabilidade
Segurança contra incêndio	Desempenho acústico	Manutenibilidade
Segurança no uso e operação	Saúde, higiene e qualidade da água	
-	Funcionalidade e acessibilidade	-
-	Conforto tátil e antropodinâmico	-

Fonte: Baseado na NBR 15.575 (ABNT, 2010).

Tais requisitos³³ foram identificados utilizando como base normas brasileiras, documentos técnicos e as entrevistas com profissionais atuantes no segmento de projeto e instalação do SAS. Entre as normas técnicas destacam-se: a norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2010); a norma que trata do projeto e instalação do SAS em circuito direto NBR 15.569 (ABNT, 2008), bem como outras normas brasileiras aplicáveis aos assuntos específicos. Os requisitos de “conforto lumínico e térmico” não serão discutidos porque, segundo a interpretação da autora, não interferem diretamente na implantação do SAS com interface à edificação. Já o requisito “qualidade do ar” foi adaptado para “qualidade da água”, adequando-se ao contexto da temática de estudo.

Cabe esclarecer que a sustentabilidade foi indicada como grupo de classificação de requisitos porque consta na norma NBR 15.575 (ABNT, 2010). Considerando o conteúdo desse grupo, serão abordados os requisitos e critérios vinculados à durabilidade e manutenibilidade. A classe de requisitos referentes à *adequação ambiental* não será discutida, pois conforme disposto na norma de desempenho, no “atual estado da arte não é possível estabelecer critérios e métodos de avaliação

³³ O termo requisitos de desempenho significa “condições que expressam qualitativamente os atributos que o edifício habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam satisfazer as exigências do usuário” (ABNT NBR 15.575:2010, p. 7).

relacionados à expressão desse impacto” (ABNT NBR 15.575-1:2010, p.30). Embora essa pesquisa não trate especificamente sobre o tema sustentabilidade, a utilização do SAS é vista como uma opção para o uso de energia limpa e plenamente disponível no meio ambiente. Nesse sentido, o SAS, quando considerado dentro de uma perspectiva mais ampla, é uma das alternativas para o fornecimento de energia térmica no contexto do desenvolvimento sustentável.

Além dos documentos legais e normativos nacionais, os requisitos sobre SAS foram baseados em referências normativas internacionais, aplicáveis aos projetos de SAS no Brasil. Dentre essas referências destacam-se: a) o *Código Técnico de la Edificación* (CTE), aprovado pelo Real Decreto espanhol 314/2006 que define exigências básicas obrigatórias de economia de energia (HE) nas edificações (ESPAÑA, 2006)³⁴; b) o *Pliego Oficial de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Energía Solar Térmica de Baja Temperatura* (IDAE, 2008), cujo documento técnico é referência para o atendimento de *Ordenanzas Solares*³⁵, que integram à legislação vigente na Comunidade Autônoma da Catalunha (Espanha).

Os requisitos neste trabalho são apresentados como os atributos e características gerais que os componentes do SAS e/ou os espaços onde estão locados devem apresentar para atender as exigências, diretas ou indiretas, dos usuários da edificação.

Para os requisitos apontados são sugeridos critérios de desempenho³⁶. Os critérios são considerados expressões quantificáveis dos requisitos segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2010). Quando não expressos de forma numérica são apresentados na forma de premissas de projeto. Nesses casos há sempre a indicação de fontes,

³⁴ O documento H4 – “*contribución solar mínima de água caliente sanitaria*” especifica a caracterização e quantificação das exigências que o projeto de SAS deve atender. O documento é estruturado da seguinte forma: 1. Generalidades; 2. Caracterización y cuantificación de las exigências; 3. Cálculo y dimensionado; 4. Mantenimiento.

³⁵ Todas as 81 *Ordenanzas solares* possuem uma estrutura semelhante, distinguindo-se nos artigos relativos a: objeto e campo de aplicação; usos; garantia; critérios de excepcionidades; requisitos de instalações; proteção da paisagem; dever de conservação; empresas instaladoras e cumprimento, infrações e sanções (SUQUET, 2006).

³⁶ Critérios de desempenho são “especificações quantitativas dos requisitos de desempenho, expressos em termos de quantidades mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinados” (ABNT NBR 15.575:2010, p. 5).

normas e documentos que fornecem orientações precisas para a sua qualificação e mensuração.

Os requisitos e critérios aplicáveis ao projeto de SAS estão reunidos em três classes: segurança, habitabilidade e sustentabilidade, conforme esclarecimento prévio.

3.1 SEGURANÇA

3.1.1 Segurança estrutural

A NBR 15.569 (ABNT, 2008, p. 12) estabelece que “as estruturas projetadas para o sistema solar e suas estruturas de montagem devem estar baseadas em prática geral aceita de engenharia”. Considera-se tal descrição genérica e simplista para identificação dos requisitos específicos de segurança estrutural. Nesta pesquisa foram identificados quatro requisitos gerais vinculados aos componentes do SAS instalados na cobertura e que interferem na segurança estrutural da edificação e dos seus sistemas. Esses requisitos são devidos, principalmente, à atuação das cargas permanentes e acidentais (estáticas ou dinâmicas), a saber:

- Os coletores solares, o reservatório térmico (se instalado externamente) e suas estruturas de suporte devem ser instalados de modo a garantir estabilidade e resistência quando submetidos às cargas de vento ou outras ações como, por exemplo, chuva de granizo;
- Os componentes de ligação e ancoragem das estruturas de suporte (dos painéis e do reservatório) devem ser capazes de transmitir aos seus pontos de apoio as solicitações provenientes das cargas permanentes e das cargas acidentais;
- A estrutura da cobertura ou a estrutura principal da edificação devem ser dimensionadas para receberem a carga permanente (peso próprio) dos coletores, suportes e reservatórios e para as solicitações dela decorrentes. A carga de vento, carga de serviço durante operação e manutenção do SAS entre outros carregamentos específicos, se houver, também devem constar no programa de necessidades do projeto das estruturas;

- As tubulações, conexões e acessórios do circuito primário e secundário não devem apresentar deformações permanentes ou rupturas quando submetidas à variação da temperatura de serviço (ABNT NBR 15.569:2008).

Os critérios referentes à segurança estrutural são apresentados na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Critérios referentes à segurança estrutural.

Componentes	Critérios
Coletores solares, reservatório, estruturas de suporte e a sua operação e manutenção	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Atender a NBR 6.123 (ABNT, 1990), que fixa condições exigíveis na consideração das forças devido à ação estática e dinâmica do vento para efeitos de cálculo de edificações; ▪ Não sofrer avarias sob a ação de granizo e de outras pequenas cargas acidentais, desde que os valores de impacto não ultrapassem os valores indicados pelos fabricantes dos equipamentos.
Componentes de ligação e ancoragem	<ul style="list-style-type: none"> ▪ As ligações e ancoragens devem ser especificadas pelo projetista com base nas solicitações nelas atuantes decorrentes das cargas permanentes, de serviço e carga de vento, seguindo os critérios de dimensionamento de ligações da NBR 8.800 (ABNT, 2008); NBR 7.190 (ABNT, 1997) ou de outras normas ou documentos técnicos pertinentes ao tema.
Estrutura da cobertura, reservatório de água e estrutura principal da edificação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O peso próprio dos painéis, da estrutura de suporte e do reservatório térmico deve ser considerado no projeto estrutural da edificação (estrutura da cobertura e estrutura principal) para atendimento dos critérios de estado limite último (ABNT NBR 15.575-1:2010, item 7.2.1) e de estados limites de serviço (ABNT NBR 15.575-1:2010, item 7.3.1); ▪ Os sistemas de coberturas acessíveis aos usuários, devem suportar a ação simultânea de três cargas, de 1kN cada uma, com pontos de aplicação constituídos de um triângulo equilátero com 45 cm de lado, sem que ocorram rupturas ou deslocamentos” (ABNT NBR15.575-5:2010, p.10); ▪ Todo elemento isolado de cobertura (ripas, terça, e barras de banzo superior de treliças), deve ser projetado para receber, na posição mais desfavorável, uma carga vertical de 1kN, além da carga permanente (ABNT NBR15.575-5:2010, p.9); ▪ O peso específico de um reservatório térmico varia conforme o material de que é feito e da sua capacidade de armazenamento (entre 100 litros a 5.000 litros, dependendo do modelo fabricado). Deve-se consultar o catálogo de produtos da empresa fabricante para obtenção dessas informações.
Circuito primário e secundário	<ul style="list-style-type: none"> ▪ “Em qualquer ponto da rede predial de distribuição, a pressão da água em condições dinâmicas (com escoamento) não deve ser inferior a 5 kPa” (ABNT NBR 5.626:1998, p.12); ▪ “Em condições estáticas (sem escoamento), a pressão da água em qualquer ponto de utilização da rede predial de distribuição não deve ser superior a 400 kPa” (ABNT NBR 5.626:1998, p.12); ▪ “As válvulas de descarga, metais de fechamento rápido e do tipo monocomando não devem provocar sobrepressões no fechamento superiores a 20 kPa” (ABNT NBR 15.575-6:2010, p.5).

Fonte: Elaborado pela AUTORA (2011).

Os profissionais entrevistados apontaram que a melhor solução custo-benefício para instalação dos coletores é a utilização de fio de cobre rígido amarrado no madeiramento do telhado, que reduz o custo relativo ao suporte de perfil de alumínio e minimiza eventuais vibrações provocadas pela ação do vento, dispensando a realização de cálculos de forças devidas ao vento. Em relação ao local de instalação do reservatório térmico de pequeno e médio porte³⁷, os entrevistados costumam recomendar sua instalação próxima às paredes ou vigas da estrutura da edificação sustentação da estrutura da cobertura, de forma a distribuir o peso³⁸ homogeneamente no sistema estrutural.

Embora o projeto e instalação desses componentes nas coberturas exijam o envolvimento de profissionais habilitados e capacitados para exercerem tais funções (cálculo, dimensionamento estrutural e detalhamento) observa-se que, na prática corrente, ainda prevalecem soluções empíricas.

Dependendo do local de implantação e do arranjo físico dos coletores, deve ser prestada uma atenção especial à ação dos ventos. Soma-se a isso a falta de soluções para a ligação dos componentes do SAS à estrutura da cobertura, ou seja, chumbadores, presilhas, pinos que, desde que corretamente projetados, possibilitam a ligação com segurança sem afetar a estanqueidade do revestimento da cobertura (ver item 3.2.1). A perda de continuidade do revestimento da cobertura, em razão dos métodos de instalação dos componentes do SAS, também podem prejudicar a isolamento térmica de coberturas que recebem tratamentos especiais e que requerem cuidado específico no detalhamento das ligações e ancoragens.

Outro ponto crítico na prática das instalações do SAS em coberturas inclinadas é a desconsideração do peso próprio dos componentes (coletores solares, estrutura de suporte e reservatório). O apoio dos componentes do SAS geralmente é realizado

³⁷ Considera-se instalação de pequeno porte aquela que usa reservatório com capacidade de até 1.000 L para armazenamento de água quente; médio porte entre 1.000 L a 3.000 L e de grande porte acima de 3.000 L (ABRAVA et al, 2007)

³⁸ De acordo com os catálogos de fabricantes de equipamentos de SAS (exs.: manual técnico da empresa Tuma Industrial, da empresa Soletrol), a massa aproximada do reservatório térmico em aço inoxidável vazio está na faixa de valores entre 24 kg (capacidade de 200 L) e 165 kg (capacidade de 2.000L). A massa dos reservatórios térmicos cheios pode variar em torno de 240 kg até 5.000kg, dependendo da sua capacidade de armazenagem.

nos caibros, terças ou vigas da estrutura de madeira ou metálica que suporta o telhado. Essa sobrecarga na cobertura em certos casos pode levar a estrutura ao colapso e, em casos mais frequentes, pode provocar deformação excessiva na estrutura de suporte. Disso resulta o a entrada e/ou acúmulo de água pluvial na cobertura com reflexos negativos na durabilidade dos materiais e na estanqueidade da cobertura. Dependendo da extensão, o acúmulo de água pode potencializar a proliferação de vetores transmissores de doenças.

3.1.2 Segurança contra incêndio

Entre os requisitos de segurança contra incêndio em edificações segundo a ABNT NBR 15.575-1:2010, dois deles são aplicáveis ao SAS e seus componentes: dificultar o princípio de incêndio e dificultar a propagação das chamas generalizada.

Para dificultar o princípio de incêndio atua-se na proteção contra:

- Descargas atmosféricas: via de regra, o sistema de proteção contra descargas atmosféricas – SPDA é projetado para proteção da edificação como um todo;
- Risco de ignição das instalações elétricas: atenção deve ser dada ao sistema auxiliar de aquecimento elétrico, quando houver, e demais componentes elétricos usados no SAS;
- Risco de vazamento de gás: atenção deve ser dada ao sistema auxiliar de aquecimento a gás, quando houver.

Para dificultar a propagação das chamas generalizada deve-se controlar as características de reação e resistência ao fogo dos materiais e componentes usados no SAS.

Cada material apresenta uma forma de reação ao fogo, responsável por sua contribuição na sustentação da combustão, propagação superficial de chama e desenvolvimento de calor, fumaça ou emissão de gases nocivos. Por outro lado, cada material apresenta a propriedade de resistir à ação do fogo por determinado período de tempo, de modo a manter sua segurança estrutural, estanqueidade e isolamento (ABNT NBR 14.432:2001).

Tais requisitos devem ser atendidos, respectivamente, pelo arquiteto e pelo projetista do SAS, responsáveis pela especificação de materiais de acabamento e de revestimento da edificação e pela especificação dos componentes de SAS.

Especial atenção é dada aos materiais isolantes que, de acordo com a NBR 15.569 (ABNT, 2008, p. 11), “[...] devem possuir resistência a fogo conforme especificado nos códigos, em função do local de uso”. Dentro desse contexto, destaca-se a Instrução Técnica (IT) nº 10 (POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2011) - Controle de materiais de acabamento e de revestimento (CMAR)³⁹ – que estabelece as condições a serem atendidas pelos materiais de acabamento e de revestimento empregados nas edificações, para que, na ocorrência de incêndio, restrinjam a propagação de fogo e o desenvolvimento de fumaça. O CMAR não é exigido nas edificações com área menor ou igual a 750 m² e altura menor ou igual a 12 m⁴⁰. Porém, é importante que haja esse controle de materiais para edificações inferiores a 750 m² por meio da caracterização dos materiais utilizados no SAS. Os critérios referentes à segurança contra incêndio são apresentados na tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Critérios referentes à segurança contra incêndio.

Componentes	Critérios
Sistema de aquecimento auxiliar, controle diferencial de temperatura, sensores, motobomba hidráulica e de pressurização, bomba de calor, quadro de comando	<p><i>Sistema de Proteção contra descargas atmosféricas (SPDA):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ “As edificações residenciais devem ser providas de proteção contra descargas atmosféricas, podendo utilizar os seguintes elementos: hastes; cabos esticados; condutores em malha; elementos naturais” (ABNT NBR 5.419:2001, p. 5). <p><i>Proteção contra risco de ignição nas instalações elétricas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ “Devem ser previstos dispositivos de proteção para interromper toda corrente de curto-circuito nos condutores dos circuitos, de forma a evitar que os efeitos térmicos e dinâmicos da corrente prevista possam causar a danificação dos condutores e/ou de outros elementos do circuito” (ABNT NBR 5.410:2008, p.30); <p><i>Proteção contra risco de vazamentos nas instalações de gás:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ As instalações de gás devem ser projetadas e executadas de acordo com as NBR 13.523 (ABNT, 2008) e NBR 15.526 (ABNT, 2009).
Materiais isolantes	<ul style="list-style-type: none"> ▪ “Os materiais isolantes devem possuir resistência a fogo” (ABNT NBR 15.569:2008, p.11), e “deve apresentar índice de propagação de chamas menor ou igual a 25” (ABNT NBR 15.575-5:2010, p. 12).

Fonte: Elaborado pela AUTORA (2011).

³⁹ Disponível em <http://www.bombeiros.sp.gov.br/>

⁴⁰ Para edificações enquadradas nos grupos/divisões: A, C, D, E, G, F-9, F-10, H1, H-4, H-6, I, J, conforme IT nº10 (POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2011).

Cabe destacar que na especificação do isolante deve-se atentar para o tipo de retardante usado. De acordo com Vilar (2004) os compostos halogenados são eficientes na contenção do fogo e por isso são comumente usados como retardantes de chama na composição de diversos polímeros. Quando em contato com o fogo, os compostos halogenados liberam fumaça tóxica de efeito danoso. Os retardantes de chama fosforados não halogenados são considerados mais adequados por não liberarem gases tóxicos durante a queima.

A título de ilustração, a tabela 3.3 indica os principais tipos de retardantes de chama das polituretanas (PU) que são comumente usadas nas especificações dos isolantes para os SAS.

Tabela 3.3 – Tipos de retardantes de chama às poliuretanas.

Retardantes de chama líquidos	Aplicação
Tri(2-cloroisopropil) fosfato (TCPP)	uso geral
Tri(2-cloro-1-(clorometil)etil) fosfato (TDCP)	uso geral
Tri(2-cloroetil) fosfato (TCEP)	espumas rígidas e revestimentos
2,2-bis(clorometil)propileno-bis(bis(2-cloroetil) fosfato) V6	espumas flexíveis, rígidas e moldadas
di(2-ethyl-2-hydroxyethyl)amino ethyl phosphonate (HEAEP)	reativo para espumas rígidas
triethylphosphate (TEP)	não halogenado para pu flexíveis e rígidos
Dimetil metilfosfonato (DMMP)	não halogenado para espumas rígidas, elastômeros e revestimentos
diethyl ethylphosphate (DEEP)	não halogenado para espumas rígidas e flexíveis
oligômero de alquilfosfato (OAP)	não halogenado para espumas flexíveis moldadas
Retardantes de chama reativos	Aplicação
Poliolpolieter bromado (diol/triol)	espumas rígidas, elastômeros e revestimentos
Diester/éter diol do anidrido tetrabromoftálico	espumas rígidas, elastômeros e revestimentos
Diol do tetrabromoftalato	espumas rígidas, rim, elastômeros, adesivos, revestimentos e fibras
Anidrido tetrabromoftálico	espumas rígidas

Fonte: <http://www.poliuretanos.com.br/>.

3.1.3 Segurança no uso e operação

Para obter um funcionamento satisfatório do SAS é necessário garantir a segurança no uso e operação do sistema, de modo que o usuário não corra riscos durante o manuseio dos equipamentos. Os principais requisitos de segurança no uso e operação, são:

- “O SAS não deve causar danos estruturais, contaminar a água, criar risco de fogo e colocar em risco a saúde ou segurança do usuário” (ABNT NBR 15.569:2008, p.11);
- “Os coletores solares que utilizem vidro devem ser instalados de modo a evitar acidentes e danos no caso de uma eventual quebra” (ABNT NBR 15.569:2008, p.11);
- “Deve-se evitar o risco de choques elétricos e queimaduras em sistemas de equipamentos de aquecimento, como por exemplos, nos sensores, controle digital de temperatura (CDT), cabos” (ABNT NBR 15575-6:2010, p.9);
- “O aquecimento auxiliar (a gás) não deve apresentar riscos de explosão ou intoxicação, aos usuários, durante o uso” (ABNT NBR 15575-6:2010, p.10).

Os critérios referentes à segurança no uso e operação constam da tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Critérios referentes à segurança no uso e operação.

Componentes	Critérios
Tubulações, válvulas e conexões	<p><i>Relativos ao emprego de dispositivo de alívio de pressão (ABNT NBR 15.569:2008, p.22):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Respiro:</u> <ul style="list-style-type: none"> a) “a tubulação deve ser instalada na posição ascendente, a partir do ponto de conexão mais alto do reservatório térmico, sem restrições, obstrução ou mudança brusca de direção”; b) “o tubo deve ultrapassar no mínimo 0,30 m o nível de água máximo de caixa de alimentação de água fria”; c) “o diâmetro do tubo não deve ser inferior a 15 mm”; d) “é vedada a utilização de respiro coletivo” (ABNT NBR 7.198:1993, p.4). ▪ <u>Conjunto de válvulas:</u> <ul style="list-style-type: none"> a) válvula de alívio de pressão positiva - o diâmetro deve ser superior a 15 mm, e conduzir a água eliminada para local apropriado; b) válvula de pressão negativa (quebra-vácuo) - o corpo da válvula deve estar acima do nível de água do reservatório térmico; c) válvula eliminadora de ar - o corpo da válvula deve estar acima do nível de água do reservatório térmico. ▪ “Os aquecedores devem ser dotados de dispositivo automático que controle a máxima temperatura admissível da água, e deve ser instalada uma válvula de segurança de temperatura na saída de água quente” (ABNT NBR 7.198:1993, p.3).
Coletores solares	<ul style="list-style-type: none"> ▪ “Devem ser instalados dispositivos de segurança para evitar a queda de coletores solares [ou de suas partes] em locais onde isso possa constituir risco significativo para as pessoas ou bens” (ABNT NBR 15.569:2008, p.11). ▪ O material da cobertura transparente deve ser vidro normal ou temperado para reduzir a degradação no tempo, ou seja, aumentar a durabilidade, e de espessura superior a 3 mm para evitar quebras (INSTITUTO BRASILEIRO DO COBRE, 2006). O vidro temperado quando quebrado resulta em pequenos pedaços com arestas pouco cortantes, reduzindo o risco de ferimentos no usuário.

continua

conclusão

Componentes	Crítérios
Reservatório térmico, sistema de proteção anticongelamento, motobombas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ “Os equipamentos devem ser direta ou indiretamente aterrados, com corrente de fuga limitada em 15 mA” (ABNT NBR 15575-6:2010, p.9).
Sistema de aquecimento auxiliar (a gás)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ “Os aparelhos de acumulação a gás, utilizados para o aquecimento auxiliar de água devem ser providos de dispositivo de alívio para o caso de sobrepressão e também de dispositivo de segurança que corte a alimentação do gás em caso de superaquecimento” (ABNT NBR 10.540:1988, p.4).

Fonte: Elaborado pela AUTORA (2011).

Os projetistas entrevistados mencionaram que o usuário geralmente consegue manusear o SAS com facilidade. Porém, a dificuldade apontada é referente ao sistema de aquecimento auxiliar automatizado no que tange a programação do CDT. Dessa forma, ressalta-se a importância da existência de manuais de operação e manutenção, cujas informações devem ser apresentadas de forma didática, linguagem simples e com vocabulário preciso, facilitando assim sua compreensão (ABNT NBR 14.037:1998).

3.2 HABITABILIDADE

3.2.1 Estanqueidade

A estanqueidade deve ser considerada pelo projetista como um dos requisitos prioritários a ser atendido na fase de projeto, uma vez que interfere diretamente na durabilidade dos componentes e também na segurança estrutural da edificação.

A partir das respostas obtidas nas entrevistas e também no estado de arte sobre SAS, constatou-se que os coletores solares são fixados por fios de cobre no madeiramento do telhado (vigas e caibros). Considerando que esses fios perpassam nos furos realizados na telha pelo instalador, alguns profissionais vedam com borracha de silicone ou manta asfáltica com objetivo de evitar as infiltrações de água de chuva. Sendo assim, é necessário realizar vistoria na vedação desses furos periodicamente e refazê-la quando necessário, já que sua vida útil é reduzida pela exposição às intempéries (chuvas, granizos, ventos, alta umidade, radiação

ultravioleta). A falta de manutenção preventiva por parte dos usuários pode acarretar infiltrações na cobertura.

A partir dos dados coletados, foram identificados os principais requisitos referentes a estanqueidade, a saber:

- “As furações ou passagens em peças estruturais para instalação dos coletores solares devem ser executadas de forma a preservar a integridade da edificação” (ABNT: NBR 15.569, 2008, p.17);
- “Os sistemas hidrossanitários de água fria e água quente devem apresentar estanqueidade quando sujeitos as pressões previstas no projeto” (ABNT NBR 15.575-6:2010, p.11);
- “As tubulações, equipamentos e peças do circuito secundário não devem apresentar vazamentos quando submetidos à pressão estática máxima ou transientes hidráulicos” (ABNT NBR 5.626:1998, p.21-22).

Os critérios referentes à estanqueidade são resumidos na tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Critérios referentes à estanqueidade.

Componentes	Critérios
Sistemas hidrossanitários de água fria e água quente	<ul style="list-style-type: none"> ▪ “As tubulações do sistema predial de água não devem apresentar vazamento quando submetidas a pressão hidrostática de, no mínimo 1,5 vez o valor da pressão prevista, em projeto, nesta mesma seção, sob condições estáticas, isto é, sem escoamento e, em nenhum caso, devem apresentar vazamento quando submetidas a pressões inferiores a 100 kPa projeto” (ABNT NBR 15.575-6:2010, p.11).
Suportes dos coletores solares	<ul style="list-style-type: none"> ▪ “Para evitar infiltrações de água de chuva pelos furos de fixação, deve-se utilizar o sistema de impermeabilização contra água de percolação, conforme a NBR 9.575 (ABNT, 2003, p.7). Em geral, aplica-se borracha de silicone ou manta asfáltica para vedação. No caso da utilização da manta asfáltica, deve-se atender aos requisitos da NBR 9.952” (ABNT, 2007, p.2-5).
Sistema de proteção anticongelamento, tubulações, equipamentos e peças do circuito	<ul style="list-style-type: none"> ▪ “A verificação da estanqueidade deverá ser realizada com água quente a temperatura de 80°C, com pressão hidrostática interna correspondente a 1,5 vezes o valor da máxima pressão estática de serviço” (ABNT NBR 7.198:1993, p.5); ▪ “Em nenhum caso devem apresentar vazamento quando submetidas a pressões inferiores a 100 kPa” (ABNT NBR 15.575-6:2010, p.11).

Fonte: Elaborado pela AUTORA (2011).

A falta de estanqueidade somente é considerada pelos usuários quando o defeito interfere negativamente no requisito conforto. De acordo com Mendonça (2009), os usuários justificam a falta de manutenção preventiva por esta ser um processo

incômodo, causado pela dificuldade de acesso aos equipamentos. Dessa forma, cabe ao projetista, elaborar espaços acessíveis para instalação do SAS e também, dispositivos que facilitem a manutenção por parte dos usuários (ver itens 3.2.6 e 3.3.1).

3.2.3 Desempenho acústico

Skozolay (1983, p. 253) relata que todas as motobombas e máquinas com partes móveis são fontes potenciais de ruído. Ao mesmo tempo, menciona que os sistemas solares são menos ruidosos que os sistemas de calefação e refrigeração convencionais. De acordo com a NBR 5.626 (ABNT, 1998, p. 36) “uma motobomba bem projetada, instalada e usada nas condições corretas não gera ruído excessivo”. Entretanto, se a vazão é maior que a prevista ou a pressão de sucção é insuficiente, há risco de cavitação⁴¹ e turbulência, resultando em ruído e vibração.

Tendo em vista a prevenção de ruídos desagradáveis provocados pelo funcionamento de motobombas, e também, pelo fluido de trabalho que circula pela tubulação hidráulica foram identificados os seguintes requisitos de desempenho acústico (CTE, 2006; IDAE, 2008; BENEDICTO, 2008):

- As tubulações, equipamentos e componentes sujeitos aos esforços dinâmicos devem ser projetados para que não propaguem vibrações aos elementos das edificações;
- Nos locais em que o nível de ruído possa perturbar o repouso ou o desenvolvimento das atividades normais, a velocidade da água deve ser limitada a valores compatíveis com o isolamento acústico;
- Componentes que produzam altos níveis de ruído (motobombas) deverão situar-se em ambientes adequadamente protegidos contra a transmissão do som.

De acordo com a NBR 10.152 (ABNT, 1992) os níveis de ruído admissíveis (NAC) em ambiente de uma edificação residencial, tais como o dormitório e a sala

⁴¹ Fenômeno físico originado em quedas repentinas de pressão, geralmente observado em sistemas hidráulicos. A combinação entre a pressão, temperatura e velocidade resulta na liberação de ondas de choque e micro-jatos altamente energéticos, causando a aparição de altas tensões mecânicas e elevação da temperatura, provocando danos na superfície atingida (DAVIS, 1994).

correspondem a 35-45 dB e 40-50 dB, respectivamente. Portanto, a motobomba em funcionamento não pode gerar ruído superior a esses níveis admissíveis.

A seguir são apresentados na tabela 3.6 os critérios referentes ao desempenho acústico.

Tabela 3.6 – Critérios referentes ao desempenho acústico.

Componentes	Critérios
Tubulações de água quente e água fria	<ul style="list-style-type: none"> ▪ “A velocidade de escoamento da água nas tubulações dos sistemas prediais de água fria e água quente, não deve ser superior a 3,0 m/s” (ABNT NBR 5.626:1998, p.35); ▪ “As tubulações devem ser rigidamente fixadas à estrutura do edifício por suportes e ancoragem” (ESPAÑA, 2006, p.17).
Motobombas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ “Devem-se utilizar isoladores de vibrações, tipo mangote flexível, colocado entre a saída da bomba e a tubulação de recalque” (ABNT NBR 5.626:1998, p.36; ESPAÑA, 2006).

Fonte: Elaborado pela AUTORA (2011).

A utilização de isoladores eficazes restringe a transmissão de vibração da própria tubulação. Porém, observa-se que na prática, principalmente em edificações residenciais unifamiliares, a ausência de dispositivos que atenuem os ruídos gerados pelo funcionamento de uma motobomba hidráulica.

3.2.5 Saúde, higiene e qualidade da água

A qualidade da água que abastece o reservatório térmico é de fundamental importância para garantir o bom desempenho e vida útil prolongada do sistema. De acordo com a NBR 15.569 (ABNT, 2008, p. 13) “o instalador deve atentar para a qualidade da água disponível no local e verificar se está de acordo com os padrões mínimos exigidos por um órgão competente [...]”.

Cabe destacar que a água própria para consumo humano pode não apresentar condições ideais para o funcionamento do equipamento, implicando em reações químicas a partir do contato com determinadas ligas e/ou metais. Por isso, recomenda-se a elaboração de análise físico-química da água, principalmente nos casos de regiões litorâneas, edificações abastecidas por água não tratada ou por poços artesianos (UNIVERSIDADE DO SOL, 2005). A seguir são apresentados problemas relacionados aos tipos de água (TUMA, s/d):

- Água com pH acima ou abaixo do neutro: pode vir a provocar corrosão nos tubos internos dos coletores solares, nos tubos de cobre da residência, metais sanitários e nas paredes do reservatório. Para proteger da ação corrosiva, recomenda-se a utilização de um sistema de proteção catódica, que consiste em anodos de sacrifício em magnésio⁴² (FRANCIA, 2004);
- Água dura: apresenta elevado índice de dureza que pode, com o passar do tempo, fazer com que a incrustação de calcário nas paredes dos tubos e do reservatório térmico venha a reduzir o desempenho do sistema e até mesmo provocar vazamentos. O tempo para ocorrência deste tipo de problema é indeterminado. Em locais com dureza acima de 100 ppm, é aconselhável a instalação de um filtro que permita reduzir a dureza da água ou evitar que o calcário se incruste. No caso de água dura, o sistema de proteção catódica não pode ajudar a manter a integridade do sistema.

Outro requisito importante a ser considerado pelo projetista é a prevenção contra a contaminação da água (COMISSÃO EUROPÉIA, 2004; ESPAÑA, 2006; IDAE, 2008). Deve ser evitado o surgimento de bactérias como, por exemplo, a *Legionella pneumophila*, que causa pneumonia e prolifera-se em ambientes úmidos, escuros e com temperatura entre 35° e 40 °C (REDE DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR, 2006, p. 111-112).

A tabela 3.7 resume os critérios em relação à saúde, higiene e qualidade da água.

Tabela 3.7 – Critérios referentes à saúde, higiene e qualidade da água.

Componentes	Critérios
Reservatório térmico e de água fria, tubulações e conexões	<p><i>Relativos à preservação da potabilidade da água.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ “A superfície de qualquer componente que entre em contato com água potável não deve ser revestida com alcatrão ou com qualquer material que contenha alcatrão” (ABNT NBR 5.626:1998, p.13); ▪ Deve ser solicitada uma análise toxicológica da água circulante em material constituído de polietileno, visto que o mesmo é utilizado para fins agrícolas e sua fabricação provém geralmente da reciclagem do polietileno (RISPOLI, 2001).

continua

⁴² O metal que atua como anodo se sacrifica a favor daquele que atua como cátodo. Por essa razão este sistema é conhecido como proteção catódica por anodo de sacrifício (FRANCIA, 2004, p.37).

conclusão

Componentes	Critérios
Reservatório térmico e de água fria, tubulações e conexões	<p><i>Relativos à prevenção contra contaminação da água.</i> Conforme LAWRENCE (s/d) apud REDE DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR (2006, p. 111-112):</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ “O volume armazenado de água quente e fria deve ser reduzido ao mínimo necessário”; ▪ “Os reservatórios devem ser fechados para prevenir a entrada de material orgânico”; ▪ “Deve ser realizado o isolamento dos componentes para que as temperaturas permaneçam fora da faixa crítica de crescimento das bactérias, entre 20°C e 50°C”; ▪ “Devem ser empregados materiais metálicos e inorgânicos nas conexões e acessórios das tubulações”; ▪ “Deve ser realizada limpeza regular das partes vulneráveis do sistema”; ▪ “Deve ser especificado o tipo de reservatório que garanta temperatura mínima de 50 °C ou forneça ciclos de aquecimento até esta temperatura” (EKOS BRASIL; VITAE CIVILIS, 2010, p. 61).

Fonte: Elaborado pela AUTORA (2011).

As especificações técnicas elaboradas pelo IDAE (2008, p. 11) determinam que “a instalação do SAS alcance uma temperatura de 70°C, e não permitem a existência de componentes em aço galvanizado”. Por sua vez, ESPAÑA (2006) orienta que as instalações hidráulicas devem atender critérios higiênicos sanitários para a prevenção e controle da *Legionella pneumophila* estabelecidos no Real Decreto nº 865 (ESPAÑA, 2003)⁴³. Na ocorrência de surto da bactéria *Legionella pneumophila* deve-se realizar uma desinfecção de choque em toda rede, incluindo o sistema de distribuição de água quente sanitária. No caso de desinfecção com cloro, utilizar 15 mg/l de cloro residual livre, mantendo a água com temperatura inferior a 30°C e a um pH de 7-8, mantendo durante quatro horas. Posteriormente, deve-se neutralizar, esvaziar, limpar o fundo dos reservatórios e reparar as partes danificadas, além de enchê-lo com água limpa. Depois, aplicar com 4-5 mg/ l de cloro residual livre e manter durante 12 horas. Para finalizar, devem-se abrir todos os registros e duchas durante cinco minutos.

⁴³ O Real Decreto nº 865 foi publicado no dia 18 de julho de 2003 pelo *Boletín Oficial do Estado* (BOE) do governo espanhol. O anexo 3 contém as especificações para manutenção de instalações de água quente e fria para consumo. Disponível em: <http://www.boe.es/boe/dias/2003/07/18/pdfs/A28055-28069.pdf>.

3.2.6 Funcionalidade e acessibilidade

A NBR 15.569 (ABNT, 2008) estabelece que a instalação do SAS deve ser realizada em local que possibilite sua manutenção e não prejudique o movimento de pessoal ou de cargas. Tal requisito é corroborado pelos relatos dos projetistas entrevistados que apontaram ser fundamental o acesso⁴⁴ ao local para garantir o desempenho energético do sistema e que a interferência do arquiteto na fase do projeto da edificação pode fazer toda diferença na manutenção e no funcionamento dos equipamentos. Houve a oportunidade de conhecer duas instalações de SAS em residências unifamiliares de alto padrão, ambas apresentavam problemas de acesso aos equipamentos.

Na primeira residência, para acessar ao local onde foi instalado o reservatório térmico colocou-se uma escada de madeira extensível apoiada sobre a escada de alvenaria interna da residência, fato que não propiciava nenhuma segurança física para quem subia. Para inspecionar os coletores solares é necessário retirar algumas telhas de barro da cobertura ou possuir uma escada que alcance a altura aproximada de nove metros, correspondente a três pavimentos em terreno declive. As duas situações consistem em dificuldade de acesso para realização de limpeza periódica do SAS.

Na segunda residência visitada, não foi previsto em projeto um acesso interno aos coletores e ao reservatório térmico. Sendo assim, o acesso à casa de máquinas é realizado pelo lado externo por uma escada extensível de alumínio. Entretanto, foi necessário apoiar a escada em dois níveis diferentes devido à altura a ser alcançada: primeiro, no pavimento da varanda e no segundo momento, sob a marquise estreita de concreto. Tal procedimento acarreta em riscos físicos para a pessoa que for inspecionar os equipamentos. Além disso, observou-se que a largura da porta da casa das máquinas é inferior ao diâmetro do reservatório térmico instalado. No caso de eventual remoção desse equipamento é necessário retirar parte da cobertura da casa das máquinas ou quebrar a parede de alvenaria. Ambas

⁴⁴ No contexto apresentado, a palavra “acesso” pode ser interpretada como facilidade de chegar ao local da instalação, e também, pela facilidade de instalar e retirar o equipamento.

as alternativas acarretam em custos adicionais que poderiam ser evitados se fossem consideradas as dimensões mínimas do reservatório térmico instalado. Portanto, é importante prever a instalação dos equipamentos de SAS em locais com espaços que permitam fácil acesso para instalação, operação, inspeção e manutenção.

Além disso, o acesso deve garantir a própria segurança do instalador. O trabalho realizado pela PUC-MG e ELETROBRAS (2011a) o requisito acessibilidade foi avaliada de acordo com a segurança propiciada aos responsáveis pela instalação, a possibilidade de limpeza e a realização de reparos nos coletores, reservatórios e demais componentes. Foi verificado também o nível de acessibilidade, classificado em risco médio ou extremo risco. Constatou-se que 65,6% dos 96 sistemas avaliados foi permitido o mínimo acesso para ajuste, limpeza, manutenção ou substituição de equipamentos, sem apresentação de riscos. Contudo, foi verificada que a manutenção do sistema poderia ser realizada em 29,2%, sendo que 12,5% apresentaram situação de médio risco e 16,7% de extremo risco. Apenas 4,2% da amostra não propiciaram condições de acessibilidade dos equipamentos.

Os critérios relacionados à funcionalidade e acessibilidade constam no quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Critérios referentes à funcionalidade e acessibilidade.

Componentes	Critérios
Reservatório térmico e de água, coletores solares, acessórios e válvulas, sensores, quadro de controle, sistema de proteção anticongelamento e sistema auxiliar de aquecimento	<p><i>Relativos aos espaços adequados:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Devem ser previstas em projeto as dimensões mínimas dos componentes a serem instalados, prevendo o espaço necessário para ação de manutenção e operação do sistema; ▪ Existência de <i>shafts</i> e forros móveis no projeto arquitetônico; ▪ Devem ser previstas um dispositivo de acesso para realização de inspeção periódica dos componentes do SAS. Exs.: instalação de escada de marinho fixa, escada helicoidal, fixação de uma barra metálica com escada removível, plataformas removíveis.

Fonte: Elaborado pela AUTORA (2011).

Szokolay (1983, p.251) complementa que é “indispensável existir um dispositivo para interromper o funcionamento do sistema para realização de reparos e manutenção preventiva”. O autor destaca que geralmente não é previsto no projeto um dreno no piso onde os componentes (reservatório térmico, tubulações, válvulas e motobombas) estão instalados.

3.2.7 Conforto tátil e antropodinâmico

De acordo com a NBR 15.575-1 (ABNT, 2010, p.30), os requisitos com relação ao conforto tátil e antropodinâmico consistem em “não prejudicar as atividades habituais dos usuários e também, não apresentar rugosidades, contundências, depressões ou outras irregularidades dos elementos, componentes, equipamentos e quaisquer acessórios ou partes da edificação”. Portanto, os componentes do SAS devem apresentar formato compatível com a anatomia humana sem necessidade de excessivos esforços para a manobra ou a movimentação.

Além disso, os componentes devem ser “capazes de operar nas faixas de pressão e temperatura especificadas em projeto ou declaradas pelo fabricante, inclusive aqueles que sofrem exposição direta à irradiação solar” (ABNT NBR 15.569:2008, p.11). Os requisitos relativos à temperatura de utilização da água consistem em:

- Os aquecedores solares devem ser dotados de dispositivos automáticos que controlem a máxima temperatura admissível da água;
- Os dispositivos de controle com misturador devem permitir o ajuste na temperatura da água, de forma a propiciar o nível de conforto adequado.

A tabela 3.8 apresenta as temperaturas máximas na saída do equipamento de aquecimento conforme a NBR 15.575-6 (ABNT, 2010).

Tabela 3.8 – Temperatura máxima na saída do equipamento de aquecimento.

Aparelho	Potência (P) (kW)	Temperatura máxima °C
		Aparelho sem protetor térmico
Chuveiro	$P \leq 7,8$	50
Torneira	$P \leq 9,0$	50
Aquecedor de passagem	$P \leq 5,5$	55
	$5,5 \leq P \leq 9,0$	70

Fonte: NBR 15.575-6: (ABNT,2010, p. 18).

Os critérios relacionados ao conforto tátil e antropodinâmico são apresentados na tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Critérios de desempenho referente ao conforto tátil e antropodinâmico.

Componentes	Critérios
	<i>Relativos ao formato compatível com a anatomia humana:</i>
Tubulações, válvulas, CDT	<ul style="list-style-type: none"> ▪ “As peças de utilização, inclusive registros de manobra devem possuir volantes ou dispositivos com formato e dimensões que proporcionem torque de acionamento de acordo com as normas de especificação de cada produto, além de serem isentos de rebarbas, asperezas ou ressalto que possam causar ferimentos” (ABNT NBR 15.575-6:2010, p.20). ▪ “Os componentes, equipamentos e dispositivos de manobra devem ser projetados, construídos e montados de forma a evitar que a força necessária para o acionamento não exceda 10 N nem o torque ultrapasse 20 Nm” (ABNT NBR 15.575-1:2010, p.30).
	<i>Relativos à temperatura de utilização e pressão da água:</i>
Tubulações, Coletores solares, reservatório térmico, sistema de aquecimento auxiliar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ “A instalação de misturadores é obrigatória se houver a possibilidade da água fornecida no ponto de utilização para uso humano ultrapassar 40°C” (ABNT NBR 7.198:1993, p.4); ▪ “O ramal de alimentação do aquecedor não deve derivar de coluna de alimentação de válvulas de descarga” (ABNT NBR 7.198:1993, p.5); ▪ “Em condições dinâmicas, a pressão de água nos pontos de utilização não deve ser inferior a 10 kPa” (ABNT NBR 5.626:1998, p.12).

Fonte: Elaborado pela AUTORA (2011).

Observou-se que no item 1.3.3.2 – “*protección contra quemaduras*” do IDAE (2008, p.11), é “obrigatória a instalação de misturadores nos pontos de consumo ou de outro sistema que limite a temperatura de fornecimento a 60°C”. Tal critério diferencia-se da NBR 7.198 (ABNT, 1993, p.4) que determina a “obrigatoriedade da instalação de misturadores quando a temperatura da água para consumo ultrapassar a 40°C”.

3.3 SUSTENTABILIDADE

3.3.1 Durabilidade

A NBR 15.575-1 (ABNT, 2010, p.5) define durabilidade como a “capacidade do edifício ou de seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas, até um estado limite de utilização”. Constata-se que essa exigência do usuário envolve a questão econômica, pois está diretamente associada ao custo global do bem imóvel. A durabilidade de um produto “se extingue quando ele deixa de cumprir as funções que forem atribuídas, quer seja pela degradação que o conduz a um estado

insatisfatório de desempenho, quer seja por obsolescência funcional” (ABNT NBR 15.575-1:2010, p.23).

A vida útil de um produto consiste no “período de tempo compreendido entre o início de operação ou uso e o momento em que o seu desempenho deixa de atender às exigências do usuário pré-estabelecidas” (ABNT NBR 15.575:2010, p.23). De acordo com dados de empresas fabricantes, a vida útil dos componentes de SAS é da ordem de 15 a 20 anos, sendo que a garantia oferecida gira em torno de 5 a 10 anos⁴⁵. Entretanto, para obter a durabilidade dos mesmos é necessário executar uma instalação correta conforme especificações de projeto, bem como, realizar manutenção preventiva⁴⁶ em cada componente do SAS. Sendo assim, foram identificados os principais requisitos relativos à durabilidade dos materiais (ABNT NBR 15.569:2008), a saber:

- Os componentes utilizados devem resistir às características físico-químicas da água (pH, dureza);
- Os tubos e conexões de materiais sintéticos devem ser protegidos contra a ação da irradiação solar;
- Nos locais ou situações que apresentem condições de ocorrência de corrosão, deve-se prever a proteção adequada dos componentes do SAS.

Outros materiais incompatíveis do ponto de vista de corrosão, erosão e incrustação devem ser protegidos ou tratados para evitar degradação excessiva. Por exemplo, deve-se evitar a incompatibilidade dos tubos de aço galvanizado e de cobre, controlando a agressividade da água. Para os tubos de cobre, são consideradas agressivas as águas doces e ácidas (pH inferior a 6,5) e com alto teor de CO₂. Para os tubos de aço galvanizado é considerada agressiva a água que contém íons cloro (Cl⁻¹) em concentração superior a 250 mg/ L. Os critérios de desempenho relacionados à durabilidade são apresentados na tabela 3.10.

⁴⁵ Os dados de vida útil e garantia dos equipamentos de SAS foram extraídos das informações disponibilizadas nos sites das empresas fabricantes.

⁴⁶ Manutenção preventiva refere-se à atividade que atua antecipadamente para evitar reparações, que possam comprometer a performance do sistema. Estima-se aumentar a vida útil dos componentes (GOMIDE et al, 2006).

Tabela 3.10 – Critérios de desempenho referente à durabilidade.

Componentes	Critérios
	<i>Relativos à manutenção da capacidade funcional do SAS durante vida útil de projeto:</i>
Reservatório térmico, coletores solares, tubulações, conexões, válvulas	<ul style="list-style-type: none"> As características físico-químicas da água devem estar em acordo com a Portaria 518/ 2008 do Ministério da Saúde (no sistema de distribuição manter o pH da água entre os valores de 6,0 a 9,5). Para o cobre, o pH > 7,5 (BRASIL, 2008); Os elementos, componentes e instalações do SAS devem apresentar durabilidade compatível com a vida útil de projeto (VUP > 20 anos); Execução de manutenção preventiva (ver quadro 3.3).
	<i>Relativos à proteção contra corrosão:</i>
Tubulações, conexões, válvulas	<ul style="list-style-type: none"> Os tubos de aço galvanizado embutidos para o transporte de água fria serão recobertos com uma camada de argamassa de cimento; já para os tubos de água quente devem revestir-se, preferencialmente, com um material de revestimento que não absorve umidade e permita as dilatações e contrações causadas pelas variações de temperatura (ESPAÑA, 2006, p. 16); Os tubos expostos às intempéries devem ser protegidos. Os tubos de aço devem ser protegidos com recobrimento de zinco (ESPAÑA, 2006, p. 16); Deve-se evitar o acoplamento de tubulações e elementos metálicos com diferentes valores de potencial eletroquímico (ESPAÑA, 2006, p. 23); Os tubos de cobre não devem ser instalados antes das tubulações de aço galvanizado, conforme o sentido da circulação da água, de modo a evitar a aparição de fenômenos de corrosão por formação de pares galvânicos e transferência de íons de cobre (Cu+) até as tubulações de aço galvanizado, que aceleram o processo de perfuração (ESPAÑA, 2006, p. 23).

Fonte: Elaborado pela AUTORA (2011).

Para complementar, o quadro 3.3 apresenta as principais recomendações de manutenção preventiva de um sistema de aquecimento solar conforme ESPAÑA (2006); IDAE (2008); ABRAVA (2008), CARDOSO (2008) e OURO FINO INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. (2010). Cabe destacar que o plano de atividades apresentado no quadro 3.3 é um guia de orientação, que deverá ser adaptado conforme as condições locais e requisitos especificados em projeto. Por exemplo, dependendo da região em que os coletores solares estão instalados, será necessária uma limpeza semanal ao invés de mensal, visto que estão sujeitos a poluição, poeira em suspensão e clima seco, fatores que propiciam o acúmulo de sujeira em período de curto tempo.

Quadro 3.3 – Plano de atividades de manutenção preventiva de SAS.

Periodicidade	Interface de sistemas	Ações
MENSAL	Cobertura	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lavar os coletores com água e sabão neutro no período da manhã, para evitar trincas nos vidros ocasionados por choques térmicos; ▪ Verificar a vedação dos coletores;
	Hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificar o funcionamento do sistema de anticongelamento, caso existente; ▪ Verificar estado do isolamento térmico; ▪ Verificar e colocar em funcionamento o conjunto de válvulas, registros, respiro(s) e acessórios de segurança;
	Elétrico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificar o funcionamento dos sensores de temperatura e as configurações do ▪ Controlador diferencial de temperatura;
	Automação e elétrico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificar a regulagem do termostato;
SEMESTRAL	Elétrico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inspeccionar e testar a alimentação elétrica, resistência elétrica, corrente elétrica da bomba hidráulica e quadro de comando;
	Elétrico e Hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conferir as vedações da bomba hidráulica e a estanqueidade do sistema;
	Cobertura	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Realizar a drenagem do sistema para limpeza, de modo a eliminar as impurezas depositadas no fundo do mesmo;
ANUAL	Cobertura	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificar a existência de formação de corrosão em algum componente do sistema; inspecionar as ligações e ancoragens dos coletores e seus suportes e do reservatório quanto à resistência e estabilidade das ligações e ancoragens e degradação dos materiais
	Estrutural e hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inspeccionar a base de sustentação do(s) reservatório(s) térmico(s); inspecionar as estruturas que recebem as ligações e ancoragens dos componentes do SAS
	Elétrico e hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificar o funcionamento do sistema auxiliar.

Fonte: Adaptado de ESPAÑA (2006); IDAE (2008); ABRAVA (2008), CARDOSO (2008) e OURO FINO INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. (2010) .

Além das atividades mencionadas anteriormente, é importante destacar alguns cuidados que devem ser tomados no processo de manutenção, entre eles (OURO FINO INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA., 2010):

- Desligar os disjuntores do sistema, antes de iniciar a limpeza;
- Não utilizar álcool ou solventes, apenas água e sabão neutro;
- Prever tubo de respiro ou sistema equivalente no reservatório para evitar deformações por vácuo;
- Intensificar a limpeza em locais litorâneos para evitar corrosão;

- Fechar o registro do reservatório durante a limpeza a reservatório de água fria, para evitar que as impurezas e os produtos utilizados fiquem dentro do reservatório térmico.

3.3.2 Manutenibilidade

Define-se manutenibilidade como o “grau de facilidade de um sistema, elemento ou componente de ser mantido ou recolocado no estado no qual possa executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas [...]” (ABNT NBR 15.571-1:2010, p. 6). Sendo assim, o arquiteto ou projetista devem assegurar acesso livre aos componentes, os quais podem sofrer deterioração ou quebras. Para os coletores solares instalados em telhados, deve-se prever espaço de trabalho nas adjacências para manutenção adequada.

A partir de informações obtidas em entrevistas com os projetistas de SAS e por levantamento bibliográfico, foram identificados três requisitos referentes à manutenibilidade, a saber:

- As tubulações e os componentes do SAS devem ter fácil acesso para inspeção e manutenção;
- Os coletores solares e os reservatórios térmicos devem ser instalados em locais com facilidade de inspeção e manutenção periódica;
- Os elementos de dilatação (juntas de expansão) devem ser instalados em locais de fácil acesso (*shafts* visitáveis/ forros com inspeção), livres e desobstruídos.

Os critérios relacionados à manutenibilidade são descritos no quadro 3.4.

Quadro 3.4 – Critérios referentes à manutenibilidade.

Componentes	Critérios
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coletores solares, válvulas, reservatório térmico, tubos, CDT, sensores, quadro de comando, ligações e ancoragens das estruturas de suporte motobombas, sistema de proteção de anticongelamento. 	<p><i>Relativos às intervenções periódicas de manutenção e conservação.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Existência de manual de operação e manutenção de acordo com a NBR 15.569 (ABNT, 2008); ▪ Existência de <i>shafts</i> (dutos verticais e/ou horizontais) e forros móveis no projeto arquitetônico; ▪ Prever acessos aos equipamentos (ver item 3.2.6).

Fonte: Elaborado pela AUTORA (2011).

De acordo com as informações fornecidas pelos projetistas entrevistados, ainda não existem no mercado nacional películas autolimpantes ou dispositivos automatizados para limpeza periódica dos coletores solares. Entretanto, segundo Abrahão (2011, informação verbal)⁴⁷ já existe uma película para vidros especiais, contendo uma camada de dióxido de titânio (TiO_2), que age de duas formas: na primeira, quebra as moléculas orgânicas em contato com os raios ultravioleta; e, na segunda, elimina a poeira inorgânica. Tal processo é denominado fotocatalítico. Essa tecnologia é aplicada apenas nos vidros para fachada ou cobertura das edificações de grande porte, pois seu custo é superior a quatro vezes ao vidro convencional utilizado nos coletores, tornando-se inviável financeiramente.

Outra questão, apontada pelos entrevistados, referente à manutenibilidade é a influência da inclinação, uma vez que os coletores solares estão mais vulneráveis ao acúmulo de poeira se estiverem posicionados no ângulo inferior a 15° (ABNT NBR 15.569:2008). Sendo assim, é importante que durante a concepção da volumetria da edificação seja considerada a inclinação do telhado ou mesmo a necessidade de instalar um suporte para os coletores.

3.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO 3

A partir de uma minuciosa revisão bibliográfica, constatou-se que há lacunas sobre a determinação de critérios mínimos para o desempenho do SAS. Embora a NBR 15.569 (ABNT, 2008) estabeleça requisitos básicos para o projeto de SAS, a definição dos critérios de desempenho fica a cargo dos projetistas e instaladores, de acordo com o seu conhecimento acerca dos componentes e das condições de exposição ao uso e ao clima que se diferem em cada projeto.

Além disso, dependendo da especificidade do assunto e do conhecimento prévio do comportamento em uso de determinado sistema, a definição dos requisitos e critérios, por vezes, requer uma extensa pesquisa que, nem sempre, está ao alcance imediato dos projetistas. Por esta razão, a apresentação dos requisitos e critérios tem como objetivo principal colaborar com subsídios à especificação de soluções

⁴⁷ Informação fornecida por Samuel Abrahão no Congresso Brasileiro de Aquecimento Solar 2011, realizada na cidade de Campinas, SP.

técnicas e ao detalhamento do projeto do SAS e de outros sistemas com os quais o SAS tem interferência.

Visto sob uma abordagem sistêmica, cada tipo de componente do SAS implica o atendimento de um requisito específico que interfere direta ou indiretamente em outro sistema da edificação (hidráulico, elétrico, cobertura, estrutural). Por isso, a adoção integrada de requisitos e critérios de desempenho permite responder satisfatoriamente a uma série de solicitações impostas pelo meio (mudanças bruscas de temperatura, chuva, vento, ruído, irradiação térmica) e pela própria operação do sistema durante seu uso (ação direta dos usuários, impactos, fornecimento e consumo da água).

O quadro 3.5 sintetiza a relação de componentes do SAS com as classes de requisitos de desempenho abordados nesse capítulo.

Quadro 3.5 – Relação de componentes do SAS com as classes de requisito de desempenho.

Componentes do SAS/ classe de requisitos de desempenho	Segurança estrutural	Segurança contra incêndio	Segurança no uso e na operação	Estanqueidade	Desempenho Acústico	Saúde, higiene e qualidade do ar	Funcionalidade e acessibilidade	Conforto tátil e antropodinâmico	Durabilidade	Manutenibilidade
Coletores solares										
Reservatório térmico										
Válvulas e registro										
Tubulação e conexões										
Motobomba hidráulica										
Controle diferencial de temperatura										
Quadro de controle										
Sensores										
Reservatório de água										
Materiais isolantes										
Ligações e ancoragens das estruturas de suporte										
Motobomba de pressurização										
Bomba de calor										
Sistema auxiliar de aquecimento										
Sistema de proteção anticongelamento										

Fonte: Elaborado pela AUTORA (2011).

Conclui-se que a identificação e a organização sistemática dos requisitos e critérios conduz à priorização a ser estabelecida por meio de um consenso entre projetista e usuário (cliente) durante a elaboração do programa de necessidades, cujos aspectos e valores relacionados ao usuário e à sua relação com o espaço construído serão discutidos no capítulo 4.

CAPÍTULO 4

FATORES CONDICIONANTES PARA TOMADA DE DECISÃO NO PROCESSO DE PROJETO DO SAS.

4. FATORES CONDICIONANTES PARA TOMADA DE DECISÃO NO PROCESSO DE PROJETO DO SAS.

No presente capítulo é realizada a interpretação dos requisitos de desempenho e critérios do SAS segundo a lógica do programa de necessidades⁴⁸, o que permite a reflexão sobre a hierarquização das expectativas dos usuários e a consequente identificação dos principais aspectos normativos, legais, técnicos e econômicos do projeto que determinam o desempenho do SAS em edificações residenciais.

Os fatores condicionantes devem ser conhecidos pelo arquiteto no início do processo para não onerar, dificultar ou até inviabilizar a incorporação desses sistemas à edificação, embora seja usual, por parte de alguns profissionais, definir determinados “valores” em etapas posteriores do projeto. Nesse sentido, destaca-se a importância de realizar o dimensionamento prévio do sistema, em função do perfil de consumo do usuário (tempo e frequência de uso). A partir da obtenção da área coletora e do volume do armazenamento de água quente é possível definir o posicionamento adequado desses equipamentos conforme área disponível para implantação.

4.1 EXIGÊNCIAS DO USUÁRIO E O PROGRAMA DE NECESSIDADES

Como definir um programa de necessidades bem sucedido que inclua a utilização do SAS de modo a satisfazer as expectativas dos usuários e que seja adequado às condições locais do ambiente construído? Quais são as interferências e impactos ao longo da vida útil de uma edificação? E no caso de um projeto já materializado, como atender às novas demandas do usuário, garantindo assim um desempenho construtivo satisfatório e compatibilizado com os demais sistemas?

Para responder aos questionamentos expostos é necessário compreender a importância do programa de necessidades, considerando o usuário como o elemento central do espaço a ser projetado ou adaptado. Além disso, deve-se

⁴⁸ O programa de necessidades é definido pela NBR 13.531 (ABNT, 1995) como “etapa destinada à determinação das exigências de caráter prescritivo ou de desempenho (necessidades e expectativas dos usuários) a serem satisfeitos pela edificação a ser concebida”.

analisar a edificação com o seu entorno para viabilizar o uso do SAS, dentro das limitações e possibilidades do local de implantação.

Considerando que o arquiteto é o profissional que mantém contato direto com o usuário, cabe a ele a elaboração deste programa de necessidades. O nível de detalhamento dos programas depende do conhecimento técnico do profissional e da articulação com os demais projetistas, nas suas respectivas especialidades.

Cabe destacar que o programa de necessidades não deve ser resumido apenas a uma lista de ambientes, suas dimensões e a setorização da edificação. Devem ser considerados os aspectos e valores direcionados ao bem-estar do usuário (HERSHBERGER, 1999). No caso do projeto de SAS, é prioritário que a demanda de água quente do sistema seja dimensionada de modo a atender as necessidades do usuário.

Para Hershberger (1999) a relação do usuário com o espaço construído se dá por meio de aspectos e valores: humano, ambiental, cultural, tecnológico, temporal, econômico, estético e de segurança, conforme ilustrada na figura 4.1.

Figura 4.1- Relação dos valores de Hershberger (1999) centrados no usuário.

Fonte: adaptado de HERSHBERGER (1999) pela AUTORA (2011).

A partir destes aspectos, o arquiteto deverá identificar junto ao usuário, quais são os valores mais importantes. Estes valores deverão ser detalhados para compor uma

estrutura que auxiliará o desenvolvimento do projeto arquitetônico (HERSHBERGER, 1999, p. 74).

A abrangência do programa de necessidades é defendida por outros autores (PORTAS, 1969; KUMLIN, 1995; CHERRY; PETRONIS, 2005) e também consta na NBR 13.532 - elaboração de projetos de edificações: arquitetura (ABNT, 1995b, p.5). Existem, nas referências citadas, indicações claras sobre quais informações técnicas devem ser produzidas nessa etapa do projeto. Além da lista de ambientes, fluxos, funções ou serviços providos pela edificação, também são necessárias características ou requisitos e critérios de desempenho dos sistemas da edificação que sejam dependentes dos padrões de uso e ocupação do ambiente construído.

Em função do crescente comprometimento dos usuários com os padrões sustentáveis de uso dos recursos naturais em edificações torna-se importante conhecer a opinião do usuário em relação às tecnologias em energia solar. De modo geral, o usuário tem conhecimento superficial sobre o funcionamento do SAS e, portanto, não consegue discernir sobre os aspectos positivos e negativos que o sistema pode lhe oferecer (EKOS BRASIL; VITAE CIVILIS, 2010).

A partir da compreensão do funcionamento do SAS, o arquiteto é capaz de obter do usuário informações mais precisas quanto às suas expectativas, viabilizando a adoção de soluções que atendam ao conjunto de necessidades do usuário. Isso é de particular interesse aos projetos de edificações residenciais unifamiliares que são, em sua maioria, concebidos sob encomenda. Também é igualmente importante no caso dos projetos das edificações multifamiliares, cujas características gerais do público alvo são [ou deveriam ser] conhecidas, tais como aspectos culturais, hábitos de consumo, poder aquisitivo, entre outros.

Parte das necessidades identificadas junto ao usuário é traduzida em informações técnicas, resultando os requisitos e critérios de desempenho. Porém, é importante que o arquiteto interprete e relacione os requisitos de projeto de SAS com os valores e aspectos que sejam prioritários ao usuário. Recomenda-se identificar quais são os requisitos de desempenho relevantes ao projeto e em que medida tais requisitos poderão interferir no desempenho do SAS ao longo da vida útil.

Para auxiliar o arquiteto na elaboração do programa de necessidades do SAS o quadro 4.1. apresenta os requisitos de desempenho (ver capítulo 3), segundo os valores de Hershberger (1999, p. 73-167) apud Civile (2010, p. 18-19), associando-os às orientações de projeto de SAS descritas na NBR 15.569 (ABNT, 2008) e complementadas por diversos autores e manuais técnicos que versam sobre o assunto (DUFFIE; BECKMAN, 1980; COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS, 1995; COMISSÃO EUROPÉIA, 2004; UNIVERSIDADE DO SOL, 2005; ESPAÑA, 2006; SUQUET, 2006; CAVALCANTI et al, 2008; ABRVA, 2008; IDAE, 2008; MENDONÇA, 2009; EKOS BRASIL, VITAE CIVILIS, 2010).

Quadro 4.1 – Relação dos aspectos associados aos valores de Hershberger (1999) e as orientações de projeto de SAS.

Valores	Descrição	Orientações
Aspecto “humano”		
Atividades funcionais para ser habitável	A edificação deve acomodar as atividades a que se propõe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Definir quais atividades funcionais em que o SAS será destinado. Ex.: aquecer água para banho e piscina, para preparo de alimentos ou lavagem de roupas. ▪ Localizar os pontos de consumo de água quente, incluindo pontos para ampliação futura.
Características físicas e necessidades do usuário	Dimensões físicas dos ambientes e respectivos equipamentos necessários para o atendimento de todo o universo de usuários	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Otimizar o dimensionamento da tubulação de água quente. Ex.: localizar os pontos de água quente, próximos do reservatório térmico; ▪ Definir locais prováveis para instalação dos componentes do SAS e reservar a área necessária para instalação dos coletores solares e do reservatório térmico; ▪ Caso seja na cobertura, definir o tipo (telhado com forro ou laje, telhado sem forro ou laje, telhado com torre para reservatório de água fria e reservatório térmico, apenas laje).
Características fisiológicas e necessidades do usuário	Informações sobre os hábitos dos usuários incluindo usuários portadores de necessidades especiais, redução motora, auditiva, visual e outras	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Descrever os hábitos de consumo dos usuários (finalidade e tempo de uso). ▪ Quantificar o número de usuários na edificação; o número de banhos e a duração total por dia; verificar a frequência de utilização da banheira, da torneira da pia e do tanque. ▪ Identificar condições específicas de uso. Ex.: se o consumo de água aquecida de uma pessoa portadora de deficiência física ou com mobilidade reduzida é superior ou inferior em relação aos demais usuários;
Características psicológicas e necessidades do usuário	Informações sobre como os usuários percebem, sentem e se comportam em um espaço construído	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificar o padrão de conforto desejável. Ex.: definir a vazão do chuveiro e temperatura da água nos pontos de consumo.

continua

continuação

Valores	Descrição	Orientações
Aspecto “ambiental”		
Terreno e entorno	Características do terreno e seu entorno	<ul style="list-style-type: none"> Localizar a orientação do lote em relação ao sol; Verificar a topografia do terreno (declive, acline, plano), potencializando o aproveitamento de diversos ângulos de vista da paisagem; Identificar as áreas de sombreamento.
Clima	Temperatura, umidade, ventos predominantes	<ul style="list-style-type: none"> Verificar o tipo de clima do local em que será instalado o SAS (índices pluviométricos, velocidade dos ventos, temperatura média anual, outros fenômenos climatológicos). Ex.: em locais com temperaturas baixas prever a válvula anticongelamento, evitando o rompimento das aletas por solidificação da água.
Contexto urbano	Características do sítio	<ul style="list-style-type: none"> Descrever a vizinhança do local em que será instalado o SAS. Ex.: infra-estrutura urbana, serviços e equipamentos comunitários, abastecimento de água;
Recursos naturais	Quantidade e qualidade dos recursos naturais disponíveis: água, ar, energia, outros.	<ul style="list-style-type: none"> Obter dados sobre a irradiação solar do local, latitude e altitude. Calcular o consumo total de água quente. Calcular a fração solar.
Resíduos	Informações sobre geração de resíduos durante instalação, uso, manutenção e descarte do sistema	<ul style="list-style-type: none"> Identificar a vida útil e durabilidade dos componentes especificados nas condições de uso previstas; Planejar a destinação final do SAS quando este for descartado. Ex.: reciclar componentes nobres como vidro, alumínio, cobre.
Aspecto “cultural”		
Histórico	Características históricas do bairro/ cidade/ estado	<ul style="list-style-type: none"> Observar se outras edificações do entorno do terreno possuem SAS; Levantar causas de possíveis fracassos no uso do SAS no entorno.
Político	Zoneamento e códigos de obra	<ul style="list-style-type: none"> Atender às restrições construtivas, (recuos frontais, laterais e do fundo; taxa de ocupação; coeficiente de aproveitamento).
Legal	Normas, projetos de lei	<ul style="list-style-type: none"> Consultar às normas aplicáveis e os aspectos legais do local onde o SAS será instalado.
▪ Aspecto “tecnológico”		
Materiais	Atendimento dos requisitos e critérios de desempenho e de preferências do usuário quanto aos materiais	<ul style="list-style-type: none"> Definir o tipo de material de cada componente do SAS (tubulação em cobre, em poli (cloreto de vinila) clorado (CPVC) ou polipropileno (PP). Coletor solar com aletas em alumínio ou cobre; reservatório térmico em aço inoxidável ou polímero); Identificar o nível de agressividade ambiental para especificar materiais com maior durabilidade para uso no local

continua

continuação

Valores	Descrição	Orientações
Sistemas estruturais	Atendimento dos requisitos e critérios de desempenho e de preferências do usuário por algum tipo de sistema estrutural	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Selecionar sistemas estruturais (estrutura principal da edificação ou do telhado) que sejam aptos a receber cargas permanentes e acidentais características do SAS; ▪ Prever pontos de ligação e ancoragem na estrutura para apoio dos componentes do SAS.
Processos construtivos	Métodos, técnicas e ferramentas a serem utilizadas na construção	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Selecionar o tipo de SAS em relação à circulação do fluido (termossifão ou bombeado), meio de aquecimento (direto ou indireto), regime (passagem ou acumulação), armazenamento (convencional, integrado ou acoplado), alívio de pressão (respiro ou conjunto de válvulas), tipo de alimentação do sistema hidráulico (exclusiva ou não-exclusiva).
Aspecto “temporal”		
Crescimento	Necessidades de expansão: período, frequência	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prever situações freqüentes em que haverá aumento momentâneo na demanda de consumo de água quente (receber hóspedes com frequência); ▪ Considerar eventual aumento ou diminuição no número de usuários no decorrer da vida útil da edificação.
Mudança	Flexibilidade dos espaços, periodicidade de mudanças	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Considerar alterações previstas nos hábitos e padrões de consumo ▪ Prever flexibilidade de alterações no dimensionamento do sistema (aumentar a capacidade do reservatório térmico).
Permanência	Desempenho esperado de materiais, componentes e elementos durante a vida útil de projeto	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Depende de uma série de condicionantes para que o SAS tenha a vida útil estimada pelos fabricantes, de 20-25 anos: especificação de materiais e componentes compatíveis com as condições ambientais e nível de agressividade; a instalação do SAS conforme projeto ou procedimentos indicados pelos fabricantes; condições físicas para realização de manutenção preventiva.
Aspecto “econômico”		
Financeiros	Estimativa do custo total da obra: opções e alternativas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Realizar o estudo de viabilidade econômica (ver item 4.3).
Operação	Custo de operações da edificação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prever custos em relação ao funcionamento do aquecimento auxiliar. ▪ Em caso de sistema pressurizado ou bombeado, prever custos para operação da bomba hidráulica.

continua

continuação

Valores	Descrição	Orientações
Construção	Custo aprovado pelo usuário	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contratar instaladores habilitados e capacitados para que o custo da instalação não seja duplicado em caso de refazimento do serviço; ▪ Especificar detalhadamente no memorial descritivo os níveis de desempenho energético desejável e as características físicas, químicas dos componentes do SAS.. Dessa forma, evitam-se custos adicionais na compra de novos componentes ou o desempenho inadequado do sistema.
Manutenção	Necessidades específicas para manter o nível de desempenho do sistema	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prever custos para manutenção; ▪ Prever espaços ergonomicamente adequados para operação e manutenção; ▪ Prever elaboração de manual do usuário para realizar manutenção preventiva e corretiva; ▪ Prever condições de acesso ao local de instalação do SAS. Exs.: escada móvel, alçapão, espaço no ático (altura livre abaixo da cobertura).
Energia	Alternativas para o consumo/ custo de energia: gás, elétrica, solar, outros.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Selecionar o tipo de aquecimento auxiliar (gás, elétrico), por meio de análises de custo-benefício e da disponibilidade local de recursos energéticos.
Aspecto “estético”		
Forma	Preferências do usuário quanto à forma da edificação e adequação às especificidades locais para implantação do SAS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Definir a volumetria da edificação compatível com as necessidades técnicas de operação e manutenção do SAS; ▪ A cobertura pode ser de 1 água, 2 águas, múltiplas águas, laje, com torre.
Espaço	Características de cada espaço da edificação, conforme necessidade do usuário	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Racionalizar o projeto hidráulico, reduzindo as distâncias percorridas pelas tubulações no circuito primário e secundário do SAS.
Significado	Desejo do usuário de expressar, por meio da edificação, uma imagem específica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificar as principais razões/ motivações que conduziram o usuário a optar ao SAS para aquecer água (redução na conta de energia elétrica, preocupação ambiental, valor agregado no imóvel).
Aspecto “segurança”		
Estrutural	Dimensionamento da estrutura em função das características do sistema	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Considerar as ações resultantes nas operações de limpeza e manutenção do SAS; ▪ Considerar o peso dos componentes do SAS como carga permanente (lajes, telhados) nos prováveis locais de instalação dos coletores solares e do reservatório; ▪ Considerar as cargas de vento sobre os componentes do SAS instalados externamente à edificação.
Incêndio	Ações, procedimentos e concepções necessárias para evitar incêndios	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Selecionar materiais de isolamento térmico, componentes do SAS que possuam comportamento ao fogo conforme especificado nos códigos locais, em função do local de uso.

continua

conclusão

Valores	Descrição	Orientações
Químico	Características da água e agentes atmosféricos	<ul style="list-style-type: none"> Identificar o tipo de água a ser utilizado, principalmente nos casos em que o abastecimento é fornecido por água não tratada de poços artesianos. O desconhecimento do tipo de água poderá comprometer o funcionamento do SAS.
Pessoal	Segurança no uso	<ul style="list-style-type: none"> Para evitar choques, prever fiação com isolamento em contato com tubulação ou reservatório térmico e também aterramento adequado do SAS; Prever acessos e condições de operação seguras para o manuseio dos componentes do SAS; Instalar o respiro ou conjunto de válvulas no reservatório, de modo a garantir segurança do SAS contra pressões positivas ou negativas em relação à pressão atmosférica; Dificultar o acesso de crianças à operacionalização do SAS.
Crime	Possibilidades de intrusões externas	<ul style="list-style-type: none"> Prever medidas de segurança patrimonial.

Fonte: Adaptado de HERSBERGER (1999, apud CIVILE 2010); DUFFIE, BECKMAN (1980); COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (1995), COMISSÃO EUROPÉIA, (2004); UNIVERSIDADE DO SOL, (2005); SUQUET, 2006; ESPAÑA (2006); CAVALCANTI et al, (2008); NBR 15.569 (ABNT, 2008); MENDONÇA (2009); ABRAVA (2008); IDAE (2008); EKOS BRASIL, VITAE CIVILIS (2010).

4.2 VIABILIDADE TÉCNICA

Elaborar um projeto de SAS significa reproduzir o sistema que será instalado, por meio da análise técnica, econômica e legal, bem como, atender às necessidades do usuário. De acordo com a NBR 15.569 (ABNT, 2008), a documentação do projeto de SAS deve contemplar, no mínimo, o memorial de cálculo, o memorial descritivo e as peças gráficas e respectivas informações relacionadas, conforme quadro 4.2:

Quadro 4.2 – Documentação do projeto de SAS, conforme NBR 15.569 (ABNT, 2008).

Itens	Informações relacionadas
Memorial de cálculo	<ul style="list-style-type: none"> Premissas de cálculo; Dimensionamento; Fração solar; Volume de armazenamento; Área coletora; Estudo de sombreamento; Pressão de trabalho.

Continua

conclusão

Itens	Informações relacionadas
Memorial descritivo	<ul style="list-style-type: none"> Fontes de abastecimento de água; Ângulos de orientação e de inclinação dos coletores solares das interligações hidráulicas e interfaces dos principais componentes; Previsão de dispositivos de segurança; Massa dos principais componentes; Considerações a respeito de propriedades físico-químicas da água; Esquema, detalhes e especificação para operação e controle de componentes elétricos (quando aplicável); Especificação dos coletores solares e reservatórios térmicos; Especificação de tubos, conexões, isolamento térmico, válvulas e motobomba; Tipos e localização de suportes e métodos de fixação de equipamentos, quando aplicável.
Peças gráficas	<ul style="list-style-type: none"> Localização, incluindo endereço; Indicação do norte geográfico; Planta, cortes, perspectiva isométrica, vistas, detalhes e diagrama esquemático necessários para perfeita compreensão do sistema.

Fonte: Adaptado de NBR 15.569 (ABNT, 2008).

A partir do conhecimento prévio da documentação básica do projeto de SAS, o arquiteto poderá viabilizar a implantação desse sistema, fornecendo as seguintes informações: (a) premissas de cálculo de demanda de água quente; (b) dimensionamento para obtenção do volume do reservatório térmico e da área coletora; (c) estudo de sombreamento; (d) ângulos de orientação e de inclinação dos coletores solares e das interligações hidráulicas e interfaces dos principais componentes; (e) definição e localização de suportes e (f) métodos de fixação de equipamentos.

Se o arquiteto não fornecer informações em relação aos hábitos e, conseqüentemente, ao consumo dos usuários - tempo e a frequência de uso da água aquecida - o projetista do SAS utilizará, via de regra, os valores mínimos (ver tabela 4.1) recomendados pela NBR 15.569 (ABNT, 2008). Tal procedimento pode frustrar as expectativas dos usuários, levando-os a fazer intervenções posteriores no SAS, anulando eventuais vantagens inicialmente previstas.

Os atributos relacionados ao arranjo (apenas energia solar ou conjugação com outras fontes) e à circulação da água (natural ou forçada) são dependentes do dimensionamento dos espaços disponíveis para o SAS e do posicionamento dos elementos e componentes da edificação. Nesse caso, o conhecimento prévio das condicionantes geométricas para implantação do SAS, por parte do arquiteto, é útil

para viabilizar o uso racional das instalações e evitar gastos excessivos com a operação ou a manutenção do sistema.

Szokolay (1983) destaca que há responsabilidades distintas entre o engenheiro e o arquiteto durante a elaboração do projeto de SAS. O engenheiro é responsável pelo dimensionamento do sistema hidráulico, especificação das características técnicas e quantificação dos componentes. Por sua vez, cabe ao arquiteto elaborar os projetos detalhados da área coletora e do reservatório térmico em interface com os demais sistemas da edificação, identificar as necessidades do usuário e definir os tipos de dispositivos de comando que atendam as atividades/ tarefas a serem realizadas. Entretanto, é necessário que haja uma interação entre os profissionais envolvidos na fase da tomada de decisão, sobretudo no que diz respeito à localização dos equipamentos e dos componentes do SAS, compatibilizando soluções para a implantação adequada do sistema.

4.2.1 Problemas decorrentes da implantação inadequada do SAS

Skokolay (1978) menciona a existência de dois aspectos distintos relacionados à implantação do SAS os quais poderiam ser equacionados na fase de projeto: (a) físicos e operacionais; (b) visuais ou estéticos. O documento elaborado pela *Communauté Du Pays D'Aix* (2005) identifica cinco variáveis envolvendo a questão estética (forma, proporção, inserção, posição, associação) e apresenta recomendações direcionadas à integração dos componentes de SAS na edificação e no seu entorno. O quadro 4.3 apresenta os principais problemas de implantação do SAS, a partir dos dois documentos mencionados anteriormente.

Quadro 4.3 – Problemas decorrentes da implantação inadequada do SAS.**Tipos de problemas****Exemplos**

- Sombreamento;

- Existência de vegetação, antena parabólica, edificações vizinhas, elementos arquitetônicos;

Figura 4.2 -Sombreamento causado pela vegetação existente. Fonte: SOUZA (2012).

- Posicionamento inadequado dos componentes de SAS;

- Os coletores solares voltados para a fachada sul ;
- Inclinação dos coletores solares inferior a 10°;
- O reservatório térmico ser instalado em local que compromete o sistema estrutural da edificação;

Figura 4.3 -A área coletora voltada para a fachada sul. Fonte: VIOLATTO (2012).

Físicos e operacionais

- Inadequação na especificação de componentes.

- Ausência de um sistema de proteção anticongelamento;
- Enrijecimento e vazamento da mangueira utilizada como tubulação;

Figura 4.4 - Coletores solares danificados pelo congelamento da água. Fonte: MIYAZATO (2012).

- Falta de acessibilidade aos componentes do SAS

- Dificuldade de acesso para realização de manutenção periódica.

Figura 4.5 - Dificuldade de acesso aos equipamentos de SAS. Fonte: MIYAZATO (2012).

continua

continuação

Tipos de problemas	Exemplos	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Forma 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausência de simetria em relação à cobertura;	<p>Figura 4.6 – Área coletora assimétrica em relação à cobertura. Fonte: SOUZA (2012).</p>
<p>Visuais e estéticos</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Proporção 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausência de proporção com a área disponível para implantação dos coletores solares;	<p>Figura 4.7 – Área coletora ocupando toda área disponível da cobertura. Fonte: SOUZA (2012).</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inserção 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coletores solares sobrepostos na cobertura, sem integração arquitetônica;	<p>Figura 4.8 – Coletores solares sobrepostos na cobertura. Fonte: SOUZA (2012).</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Posição 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coletores solares posicionados de modo descentralizado ou sem aproveitamento do espaço disponível.	<p>Figura 4.9 – Coletor posicionado descentralizado a área disponível na cobertura. Fonte: MIYAZATO (2012).</p>

continua

conclusão

Tipos de problemas**Exemplos**

- Associação

- Coletores solares e reservatórios térmicos instalados isoladamente da edificação.

Figura 4.10 – Área coletora instalada independente da edificação.

Fonte: SOUZA (2012).

Fonte: Adaptado de SKOZOLAY (1978) e COMMUNATÉ DU PAYS D'AIX (2005).

Apesar do estudo de Szokolay (1978) ter sido realizado há mais de 30 anos e o documento elaborado pela *Communaté Pays D'Aix* (2005) referenciar o cenário francês, observa-se que os problemas apresentados no quadro 4.3 correspondem à realidade brasileira.

Entre os trabalhos que identificaram problemas decorrentes da implantação inadequada do SAS no cenário brasileiro, destacam-se as pesquisas desenvolvidas por Widerski (2002), Fantinelli (2006), Mendonça (2009) e ELETROBRAS (2011 a).

Widerski (2002) realizou o levantamento de onze estudos de caso de instalações de SAS em residências na cidade de Campo Mourão e arredores, no estado do Paraná. O autor verificou que o ângulo de inclinação, o desvio azimutal norte e o sombreamento nos coletores solares contribuem para reduzir a eficiência do sistema na produção de água quente. O estudo identificou uma situação em que os coletores solares são sombreados durante todo o ano resultando em apenas a 25% de incidência solar anual no período de 8h/ dia. Ressalta-se que o sombreamento foi causado pela vegetação de grande porte existente junto à calçada.

O trabalho de Fantinelli (2006) teve como objetivo identificar o comportamento e a satisfação da população em relação à introdução de equipamentos de SAS para uso doméstico, bem como analisar os novos hábitos de consumo de eletricidade e gás nas residências em decorrência da substituição do uso do chuveiro elétrico. Para

obtenção dos dados foram aplicados métodos e técnicas da Avaliação Pós-Ocupação (APO)⁴⁹, em levantamento realizado no núcleo habitacional Sapucaias na cidade de Contagem (MG). Foram entrevistadas 100 famílias que responderam a 70 questões relacionadas aos seguintes aspectos: (a) sócio-econômicos; (b) consumo de eletricidade, GLP e água; (c) posse de eletrodomésticos e potencial de demanda de eletricidade; (d). comportamento em relação ao banho e à nova tecnologia e avaliação da satisfação do morador com o uso do sistema termossolar. Constatou-se que 56 % dos entrevistados relataram a inexistência de problemas com os equipamentos do SAS, sendo que quando existiram foram resolvidos. Em relação aos 44% dos entrevistados que relataram a existência de sistemas com problemas não solucionados, verificou-se que 61% correspondem a vazamentos em um dispositivo que funciona como conexão da água quente na base da estrutura do equipamento, para o qual não existe possibilidade de substituição face à indisponibilidade do produto no mercado. Um percentual de 33% dos relatos de problemas foram devidos ao enrijecimento na mangueira de ligação devido à ação da irradiação solar e da passagem da água superaquecida pelos coletores. Tais problemas podem ser previstos na especificação dos componentes, sendo verificados o requisito de durabilidade dos materiais e a disponibilidade de componentes no mercado nacional.

Mendonça realizou um levantamento de dados em 20 residências unifamiliares, localizadas em condomínios fechados da Região Metropolitana de São Paulo - RMSP, sendo cinco delas com instalação de SAS anterior a NBR 15.569 (ABNT, 2008), duas com instalação posterior à referida norma e treze casos que não possuíam esse sistema, com intuito de verificar as razões e motivações de optar ou não pela utilização do SAS para aquecimento de água. Foram identificados os seguintes aspectos críticos de projeto e de planejamento urbano que influenciam no aproveitamento da tecnologia termossolar: ausência de componentes especificados (ex.: válvula anticongelamento); falta de racionalização do projeto hidráulico integrado ao projeto arquitetônico; problemas de sombreamento causado pelo

⁴⁹ Avaliação Pós-Ocupação (APO) consiste na aplicação de um conjunto de métodos e técnicas a ambientes construídos, edificados ou não, no decorrer do uso, cujo objetivo principal é aferir o desempenho físico e a satisfação dos usuários (ROMERO; ORNSTEIN, 2003).

paisagismo do entorno; falhas frequentes no abastecimento de água e de energia prejudicando o fornecimento de água quente.

Na pesquisa realizada pela ELETROBRAS (2011a) foram avaliados 3.610 coletores solares totalizando uma área de 1.679,07 m², que corresponde a uma área média de 82 m² por instalação e de 2,15 m² por coletor. O volume total avaliado corresponde a 530.247 litros, sendo estimado um volume médio por instalação de 5.523,4 litros. Com base na área média de coletores solares por obra, obteve-se a média de 67 litros/m² e relação a capacidade do reservatório térmico por área unitária de coletores solares. Os gráficos 4.1 e 4.2 apresentam os resultados obtidos na avaliação técnica dos coletores solares e dos reservatórios térmicos.

Gráfico 4.1- Avaliação técnica dos coletores solares.

Fonte: adaptado de ELETROBRAS (2011a).

Gráfico 4.2 - Avaliação técnica dos reservatórios térmicos.

Fonte: adaptado de ELETROBRAS (2011 a).

Constatou-se que 36,7% de instalações apresentaram problemas nos coletores solares e 42,6% nos reservatórios térmicos. Concluiu-se que os problemas apontados estão associados à falta de manutenção periódica e à qualidade e durabilidade dos materiais utilizados na fabricação dos componentes.

4.2.2 Dimensionamento da demanda de água quente

Os especialistas em projetos de SAS entrevistados mencionaram a importância do dimensionamento prévio do consumo de água quente para obtenção do volume de armazenamento e da área coletora necessária para o aquecimento da água por energia solar. Considerando que o arquiteto é responsável pela organização espacial dos ambientes, ele pode intervir na localização adequada dos equipamentos associando-os com a volumetria e área disponível da edificação, otimizando o funcionamento do SAS.

Apesar da existência de *softwares* específicos para a realização de cálculos de projeto de SAS, disponíveis no mercado, entre eles o SolTerm, TRNSYS, Termodim, Termosim, Dimensol, *RETScreen*, neste trabalho é utilizada como referência a metodologia de cálculo contida na NBR 15.569 (ABNT, 2008, p. 28 - 32), que permite a obtenção de valores genéricos de volume de consumo de água quente, volume de armazenamento e da área coletora.

4.2.2.1 Dimensionamento do volume de consumo de água quente.

Para dimensionar o volume de consumo de água quente, tem-se a seguinte fórmula conforme NBR 15.569 (ABNT, 2008, p.28) :

$$V_{\text{consumo}} = \sum (Q_{pu} \times T_u \times \text{freqüência de uso}) \quad (4.1)$$

Sendo que:

V_{consumo} é o volume total de água quente consumido diariamente expresso em metros cúbicos (m^3);

Q_{pu} é a vazão da peça de utilização, expressa em metros cúbicos por segundo (m^3/s);

T_u é o tempo médio de uso diário da peça de utilização, expresso em segundos (s);

Freqüência de uso é o número total de utilização da peça por dia.

Os valores de consumo mínimo e máximo dos pontos de utilização de água quente são apresentados na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Consumo de pontos de utilização de água quente.

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

Fonte: NBR 15.569 (ABNT, 2008, p. 33).

Embora a tabela 4.1 possa ser utilizada como referência de cálculo do volume de consumo de água quente, cada projeto de SAS apresenta particularidades conforme as expectativas dos usuários. Dessa forma, recomenda-se que o arquiteto atente aos procedimentos associados ao programa de necessidades descritos no quadro 4.1.(ver “Características fisiológicas e necessidades do usuário”, “Características psicológicas e necessidades do usuário”, “Crescimento” e “Mudança”).

Tais ações contribuem para a previsão do volume de armazenamento, reduzindo um super ou subdimensionamento. O arquiteto deve atentar para a ocorrência das seguintes situações: banho com duração superior a 10 minutos, frequência de uso de banheira, da lava-louças e da lava-roupas.

4.2.2.2 Dimensionamento do volume do reservatório de água quente.

Para calcular o volume do reservatório de água quente, tem-se a seguinte fórmula conforme NBR 15.569 (ABNT, 2008, p. 29) :

$$V_{\text{armaz.}} = \frac{V_{\text{consumo}} \times (T_{\text{consumo}} - T_{\text{ambiente}})}{(T_{\text{armaz.}} - T_{\text{ambiente}})} \quad (4.2)$$

Sendo que:

V_{consumo} é o volume de consumo diário, expresso em metros cúbicos (m³);

$V_{\text{armaz.}}$ é o volume do sistema de armazenamento do SAS, expresso em metros cúbicos (m³). A NBR 15.569 (ABNT, 2008) sugere que o V_{armaz} seja $\geq 75\% V_{\text{consumo}}$;

T_{consumo} é a temperatura de consumo de utilização, expressa em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$). A NBR 15.569 (ABNT, 2008) sugere que seja adotado 40°C ;

$T_{\text{armaz.}}$ é a temperatura de armazenamento da água, expressa em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$). A NBR 15.569 (ABNT, 2008) sugere que $T_{\text{armaz.}}$ seja $\geq T_{\text{consumo}}$;

$T_{\text{ambiente.}}$ é a temperatura ambiente média anual do local de instalação. No Brasil há uma variação de temperatura média anual entre 18° a 28°C , dependendo da localidade da instalação⁵⁰.

O volume do reservatório de água quente está diretamente associado ao requisito de segurança estrutural, visto que o seu peso específico interfere no sistema estrutural da edificação. Por isso, independente da capacidade de armazenamento dimensionada para o consumo, para obras novas, a carga total do reservatório bem como outros carregamentos (ver item 3.1) devem ser considerados no cálculo da estrutura. Para reformas, devem ser previstas verificações na resistência e estabilidade das estruturas portantes e eventuais reforços que garantam a segurança estrutural no local de sua instalação.

4.2.2.3 Dimensionamento da área coletora.

Para dimensionar a área coletora, tem-se a seguinte fórmula conforme NBR 15.569 (ABNT, 2008, p. 30) :

$$A_{\text{coletora}} = \frac{(E_{\text{útil}} + E_{\text{perdas}}) \times FC_{\text{instal.}} \times 4,901}{PMDEE \times I_G} \quad (4.3)$$

Sendo que:

A_{coletora} é a área coletora, expressa em metros quadrados (m^2);

I_G é o valor da irradiação global média anual para o local de instalação, expresso em quilowatts hora por metro quadrado dia ($\text{kWh}/\text{m}^2 \times \text{dia}$)⁵¹;

$E_{\text{útil}}$ é a energia útil, expresso em quilowatts hora por dia (kWh/dia);

E_{perdas} é o somatório das perdas térmicas dos circuitos primário e secundário, expresso em quilowatts hora por dia (kWh/dia), calculada pela soma das perdas ou pela equação:

$$E_{\text{perdas}} = 0,15 \times E_{\text{útil}} \quad (4.4)$$

$PMDEE$ é a produção média diária de energia específica do coletor solar, expressa em quilowatts hora por metro quadrado (kWh/m^2), calculada por meio da equação:

⁵⁰ Para obtenção do valor da temperatura média anual deve-se consultar o anexo D da NBR 15.569 (ABNT, 2008, p. 34) e o Atlas Brasileiro da Energia Solar (INPE, 2006).

⁵¹ Para obtenção do valor da temperatura média anual deve-se consultar o anexo D da NBR 15.569 (ABNT, 2008, p. 34) e o Atlas Brasileiro da Energia Solar (INPE, 2006).

$$\text{PMDEE} = 4,901 \times (\text{Fr}_{\text{ta}} - 0,0249 \times \text{Fr}_{\text{UL}}) \quad (4.5)$$

Fr_{ta} é o coeficiente de ganho do coletor solar (adimensional)⁵²

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

$$\text{FC}_{\text{instal.}} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{\text{ótimo}})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \gamma^2]} \quad (4.6)$$

(para $15^\circ < \beta < 90^\circ$)

β é a inclinação do coletor em relação ao plano horizontal, expressa em graus ($^\circ$);

$\beta_{\text{ótimo}}$ é a inclinação ótima do coletor para o local de instalação, expressa em graus ($^\circ$). A NBR 15.569 (ABNT, 2008) sugere que seja adotado o valor de módulo da latitude local + 10° ;

γ é o ângulo de orientação dos coletores em relação ao norte geográfico, expresso em graus ($^\circ$).

A área coletora para o aquecimento da água interfere diretamente na volumetria da edificação, principalmente no que diz respeito à definição do tipo de cobertura adequada. Observa-se, por parte de muitos projetistas, a dificuldade em conciliar o espaço disponível e o espaço necessário para instalação dos coletores solares, tendo em vista atender à demanda de água quente.

4.2.3 Fatores condicionantes locais que interferem no posicionamento adequado dos componentes do SAS.

O arranjo espacial da edificação e o posicionamento adequado de cada componente de SAS é possível somente a partir da obtenção das dimensões da área coletora e do volume de armazenamento correspondente à demanda de consumo de água quente. Entretanto, devem ser considerados fatores condicionantes locais: latitude, inclinação, orientação e sombreamento, que serão abordados a seguir.

4.2.3.1 Latitude, inclinação e orientação

Os parâmetros latitude do local, orientação e inclinação do coletor solar são intrinsecamente relacionados à trajetória aparente do Sol, bem como à localização geográfica da edificação.

⁵² O coeficiente de ganho e de perdas do coletor solar é fornecido pela empresa fabricante. Os coletores solares certificados pelo PBE apresentam esses dados.

Recomenda-se que os coletores sejam instalados com as faces voltadas para o norte geográfico⁵³, admitindo-se desvios de até 30° para leste ou oeste sem a necessidade de compensação de área coletora (UNIVERSIDADE DO SOL, 2005; ABRAVA, 2008; EKOS BRASIL; VITAE CIVILIS, 2010).

Ressalta-se que projetista deverá considerar a declinação magnética⁵⁴ no posicionamento dos coletores, pois a posição final dos mesmos será diferente do projeto. Conforme ABRAVA (2008), o instalador deverá fazer a correção (sempre no sentido horário) da declinação magnética a partir da indicação do Norte Magnético pela bússola (figura 4.11).

Figura 4.11 – Declinação magnética.

Fonte: ABRAVA, 2008, p. 22.

Outra questão importante é a inclinação dos coletores, que depende da latitude local. De acordo com Cavalcanti et. al (2008), para obtenção do rendimento máximo dos coletores seria necessário que esses se mantivessem sempre perpendiculares aos raios solares, acompanhando a trajetória do Sol durante o ano. A adoção desse tipo de sistema de movimentação de coletores solares não é viável financeiramente, já que o custo de implantação e manutenção é elevado. Por essa razão, os coletores normalmente são instalados fixos.

Para favorecer a incidência dos raios solares durante o ano todo, principalmente no período de inverno, recomenda-se inclinar o conjunto de coletores com ângulo igual

⁵³ A orientação dos coletores para o norte geográfico é indicada para o hemisfério sul. Nos casos situados no hemisfério norte, recomenda-se que os coletores sejam instalados para face sul.

⁵⁴ O órgão responsável pela atualização dos valores oficiais para a declinação magnética no Brasil a cada cinco anos é Observatório Nacional do Rio de Janeiro. <http://obsn3.on.br/~jlk/magdec/index.html>.

ao da latitude local mais 10° e nunca inferior a 15° (ABNT NBR 15.569:2008, p.18). A tabela 4.2 apresenta a relação das latitudes, ângulo de inclinação ideal e declinação magnética aplicadas para as cidades capitais brasileiras.

Tabela 4.2 – Relação das latitudes, ângulo de inclinação ideal e declinação magnética aplicados para as cidades capitais brasileiras.

Região	Estado	Cidade	Latitude	Inclinação ideal	Declinação Magnética
Norte	Acre	Rio Branco	9,98°	19,98°	-7,34°
	Amapá	Macapá	0,04°	10,04°	-18,5°
	Amazonas	Manaus	3,17°	13,17°	-13,9°
	Pará	Belém	1,91°	11,91°	-19,5°
	Rondônia	Porto Velho	8,77°	18,77°	-10,6°
	Roraima	Boa Vista	3,17° norte	3,17° norte	-14°
	Tocantins	Palmas	10,10°	20,10°	-19,9°
Nordeste	Alagoas	Maceió	9,68°	19,68°	-22,9°
	Bahia	Salvador	12,96°	22,96°	-23,1°
	Ceará	Fortaleza	3,73°	13,73°	-21,6°
	Maranhão	São Luís	2,55°	12,55°	-20,7°
	Paraíba	João Pessoa	7,12°	17,12°	-22,4°
	Pernambuco	Recife	8,06°	18,06°	-22,6°
	Piauí	Teresina	5,09°	15,09°	-21,4°
	Rio Grande do Norte	Natal	5,80°	15,80°	-22,1°
	Sergipe	Aracaju	10,90°	20,90°	-23,1°
Centro-Oeste	Distrito Federal	Brasília	15,73°	25,73°	-20°
	Goiás	Goiânia	16,70°	26,70°	-19,2°
	Mato Grosso	Cuiabá	15,60°	25,60°	-15,1°
	Mato Grosso do Sul	Campo Grande	20,48°	30,48°	-15,2°
Sudeste	Espírito Santo	Vitória	20,19°	30,19°	-22,8°
	Minas Gerais	Belo Horizonte	19,90°	29,90°	-21,5°
	Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	22,91°	32,91°	-21,4°
	São Paulo	São Paulo	23,55°	33,55°	-19,6°
Sul	Paraná	Curitiba	25,44°	35,44°	-17,3°
	Rio Grande do Sul	Porto Alegre	30,04°	40,04°	-14,74°
	Santa Catarina	Florianópolis	27,58°	37,58°	-17,46°

Fonte: Adaptado de SOLETROL (2005); EKOSBRASIL, VITAE CIVILIS (2010).

Entretanto, constata-se que na prática de mercado os coletores são instalados de acordo com a inclinação da cobertura. No Brasil utilizam-se tipos de telhas com inclinações de 10%, 20% e 45% (3,7°, 11,3° e 23,7° respectivamente) que têm relação com a inclinação requerida para o tipo de telha usada, não correspondendo com os valores indicados de otimização da captação de energia solar.

4.2.3.2 Sombreamento

Diversas pesquisas comprovaram que o 'sombreamento' sobre os coletores solares é um fator condicionante que reduz significativamente a eficiência do SAS.

Andrade (2009) desenvolveu uma metodologia experimental para avaliação do sombreamento, utilizando um anteparo de material polimérico e opaco à passagem da irradiação solar, de modo a impedir a incidência desta sobre o coletor solar durante a simulação, conforme ilustrado na figura 4.12.

Figura 4.12 - Detalhe do anteparo utilizado para simular o sombreamento.
Fonte: ANDRADE (2009).

Para efeito da simulação foram determinadas as áreas de sombreamento com variação percentual de 10 a 50% da área total de captação do coletor solar. Na primeira etapa de realização de ensaios, a área sombreada teve como referência a base para o topo do coletor solar, e na segunda etapa foi em sentido inverso. O estudo concluiu que o sombreamento na base do coletor é mais crítico do que no topo. O ensaio de eficiência térmica demonstrou ainda uma redução da ordem de 2% na eficiência do coletor solar quando sujo, comparado com o mesmo equipamento na condição limpa.

Widerski (2002) constatou que em 30% da amostra, a vegetação de grande porte existente foi responsável por causar sombreamento nos coletores solares, seja quando localizada junto às calçadas ou dentro do lote. No solstício de inverno, observou-se em 70% das residências que a incidência do sol sobre o coletor era reduzida para apenas 50%, com sombreamento no período das 8h às 13h e que em

30% das residências não havia incidência de irradiação solar sobre os coletores solares a partir das 12 horas.

Fantinelli (2006) verificou em sua pesquisa que 61% dos entrevistados não se preocupam com o sombreamento sobre os coletores solares e apenas 37% dos entrevistados tomam o cuidado de evitar que a área coletora seja sombreada. Dos que se preocupam com o sombreamento, 10% afirmaram ter realizado o reposicionamento dos coletores solares quando da realização de reformas na edificação. Em relação à obstrução do sol nos coletores solares causada por obras nas edificações vizinhas, 43% responderam que não tomam nenhuma providência; 5% mudaram o coletor; 2% não aceitaram e 50% demonstraram não ter opinião formada sobre como agir na situação mencionada.

Fretin e Bruna (2008), ao analisarem a “lei solar” do município de São Paulo (SÃO PAULO, 2007), destacam a importância de prever a delimitação de recuos das edificações entre si, de modo a garantir o aproveitamento da exposição ao sol. Nesse sentido, deve-se evitar a possibilidade de uma nova edificação vizinha causar sombreamento nos coletores solares de uma edificação existente, visto que tal fato comprometeria a eficiência térmica, ou mesmo, inviabilizaria a implantação de SAS em larga escala.

4.3 VIABILIDADE ECONÔMICA

Ao optar pela utilização de SAS para aquecimento da água, o usuário tem a expectativa de reduzir o tempo de retorno do seu investimento inicial por meio da economia mensal de energia elétrica.

Entretanto, existem inúmeras variáveis que podem influenciar nos custos de implantação e de operação do sistema. É necessário, portanto, realizar um estudo de viabilidade econômica em SAS, cujo objetivo principal é obter a melhor configuração do projeto, conciliando a demanda da água quente requerida com o melhor retorno sobre o investimento, cabendo ao usuário a decisão final em relação às opções disponíveis. Para tanto, o projetista deverá identificar e quantificar as

variáveis, abrangendo os aspectos técnicos e financeiros, além das vantagens e desvantagens de cada uma das opções.

Pereira et. al (2003) elaboraram uma metodologia de análise de viabilidade econômica -financeira, tendo como referência dados da região Sudeste do Brasil. Além disso, no estudo foram consideradas variáveis que se referem aos aspectos técnicos e financeiros, conforme apresentado no quadro 4.4. Para serem aplicáveis às demais regiões brasileiras, a metodologia proposta deve ser adaptada às características de cada local.

Quadro 4.4 – Relação das variáveis a serem consideradas nos aspectos técnicos e financeiros.

Variáveis	Descrição
Tipo de cliente	▪ A definição prévia do perfil do usuário será determinante nas variáveis a serem utilizadas nos estudos de viabilidade econômico-financeira.
Nº de usuários	▪ Quantidade de pessoas a serem atendidas diariamente pelo sistema em cada ambiente.
Nº de unidades	▪ Quantidade de unidades a serem atendidas pelo aquecedor solar, podendo ser unitárias (residências unifamiliares) ou coletivas (prédio de apartamentos).
Consumo médio por morador	▪ Volume de água consumido, em média diária, por usuário.
Tempo médio de duração do banho	▪ Expresso em minutos.
Potência elétrica do chuveiro	▪ Capacidade do chuveiro, medida em kW.
Consumo de energia utilizada no banho	▪ Expresso em kWh.
Fração solar	▪ Representa a relação entre a oferta de energia proporcionada pelo sistema de aquecimento solar e a demanda total de energia para atender o nível de conforto requerido pelo consumidor final. O valor depende das condições climáticas locais, da temperatura de armazenamento desejada, dos parâmetros de projeto do coletor selecionado e da demanda específica de energia, sendo esta associada ao nível de conforto requerido pelo consumidor final.
Custo do kWh	▪ Preço cobrado pela concessionária, que pode variar de acordo com o tipo de cliente, faixa de consumo e região do país.
Estudo de viabilidade econômica do projeto	▪ Valor a ser despendido na instalação e operação do aquecedor solar e que permite verificar sua viabilidade.
Custos de negociações e parcerias	▪ Valor a ser cobrado pelos fabricantes, revendedores ou consultores nas avaliações preliminares e negociações com o cliente final. No caso de parcerias, há a possibilidade de negociações com possíveis agentes financiadores.
Custos de projetos de engenharia	▪ Gastos com pessoal, materiais, viagens e estadias para elaboração do projeto solar executivo que inclui o aquecimento auxiliar, definição do dimensionamento, características e adequação da instalação à obra ser realizada ou de eventuais adaptações no caso de construções já existentes.
Custos dos equipamentos	▪ Valor de aquisição à vista, a prazo ou financiado dos componentes, acessórios e equipamentos necessários à implantação do sistema de aquecimento solar.

continua

conclusão

Variáveis	Descrição
Custos de operação e manutenção	▪ Valores a serem despendidos periodicamente para conservação e manutenção das instalações. Ex: substituição de vidros e resistências, limpeza dos coletores, reparo ou substituição de bombas, revisão na vedação de coletores, etc.
Custos adicionais de instalação	▪ Outros custos não-previstos inicialmente e que possam surgir no decorrer do projeto.
Previsão do aumento da tarifa de energia elétrica	▪ Considera-se a expectativa de inflação para os próximos anos.
Taxa de juros vigente para financiamento da instalação solar	▪ Taxa praticada pelos agentes financiadores em suas operações de financiamento.
Taxa de juros de aplicações financeiras (custo de oportunidade)	▪ Taxa de remuneração das aplicações financeiras do cliente, que dependerá de seu volume de recursos disponíveis.

Fonte: PEREIRA, et. al, 2003.

Pereira et. al (2003) acrescentam que além dessas variáveis no âmbito técnico-financeiro, devem-se considerar os componentes não-financeiros na tomada de decisão, a saber:

- Possibilidade de racionamento de energia em períodos de maior estiagem;
- Risco de aumento das tarifas das concessionárias de energia elétrica de modo a compensar as perdas financeiras;
- Risco do corte de energia em determinados períodos do dia.

A partir da identificação destas variáveis, distribuídas em dados de consumo, de instalação solar e financeiros, foram desenvolvidos dois modelos de planilha que demonstram o prazo de retorno do investimento de SAS. A primeira planilha é destinada para residências unifamiliares de interesse social, com a substituição de chuveiros elétricos, e a segunda, para residências de classes “A” e “B” e para sistemas de grande porte, prevendo-se a substituição de aquecedores elétricos de acumulação.

Para viabilizar a decisão quanto à utilização ou não de instalações solares optou-se pela avaliação a partir do Valor Presente Líquido (VLP) referente a desembolsos e economias ao longo do tempo. No trabalho desenvolvido por Raimo e Fagá (2006), utilizou-se o mesmo método para calcular o tempo de retorno do investimento, exemplificado na expressão a seguir:

$$VPL = -1 + \sum_{j=1}^n \frac{EE}{(1+i)^j} \quad (4.7)$$

Sendo que,

I (Investimento inicial): O custo do coletor solar instalado.

Io é o preço do metro quadrado do coletor. A (área)

$$I = A.Io \quad (4.8)$$

EE (Energia economizada em R\$): É o preço da energia final evitada.

$$EE = E \times \text{preço da energia} \quad (4.9)$$

i (taxa de juro)

n (período de análise)

Sales (2008) adotou a metodologia proposta por Pereira et. al (2003) em sua pesquisa, cujo objetivo foi investigar a viabilidade econômica da substituição dos chuveiros elétricos por sistemas de coletores solares numa residência unifamiliar de classe média, localizada no Município de Maceió-AL. Concluiu que a substituição do chuveiro elétrico convencional pelo sistema de aquecimento solar é viável para todas as tarifas consideradas: consumidores de rendas baixa, média a alta. O tempo de retorno do investimento variou entre quatro e seis anos e meio, considerando-se a economia gerada.

Existem também outros três métodos de cálculo para análise de viabilidade econômica, a saber: taxa interna de retorno (TIR), *pay-back* simples e *pay-back* descontado (REDE BRASIL DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR, 2006). A Taxa Interna de Retorno (TIR) corresponde a uma taxa mensal que anula o Fluxo de Caixa, determinando a real rentabilidade gerada pelo projeto, ou seja:

$$0 = \frac{E_0}{(1+i)^0} + \frac{E_1}{(1+i)^1} + \frac{E_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{E_n}{(1+i)^n} \quad (4.10)$$

Sendo que:

E = eventos (entradas ou saídas de recursos) que ocorrem ao longo do projeto.

O projeto será viável caso a TIR seja superior à taxa de atratividade i desejada.

O *pay-back* simples não considera o valor do capital no tempo, apresentando apenas o retorno do investimento inicial. Já o *pay-back* descontado considera o valor

do capital no tempo, visto que descapitaliza cada parcela ao longo do projeto do mesmo modo que a utilizada no VPL, demonstrando o momento exato em que acontece o retorno do investimento inicial em termos reais. Em ambos os casos, o projeto só será realizável se o prazo de retorno do investimento se der dentro do período previsto, normalmente a vida útil do equipamento.

4.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO 4

O presente capítulo abordou a importância da elaboração do detalhamento do programa de necessidades, considerando a inserção do SAS na fase de projeto. A coleta de dados pode ser realizada por meio de visitas técnicas, entrevistas com usuários e consultas técnicas com demais profissionais.

A partir da interpretação dos requisitos e critérios de desempenho apresentados no capítulo 3, associando-os aos valores e aspectos defendidos por Hershberger, foram identificados os pontos críticos de projeto segundo a lógica do programa de necessidades e que condicionam o desempenho do sistema. Foram identificados os principais problemas físicos/ operacionais e visuais/ estéticos, decorrentes da implantação inadequada do SAS.

Ressaltou-se a importância do arquiteto saber elaborar o dimensionamento prévio do volume do reservatório térmico e da área coletora, compatibilizando-os com a demanda de água quente exigida pelo usuário e identificar as soluções possíveis para a localização adequada dos equipamentos e componentes do SAS.

Por fim, foram apresentadas as variáveis que influenciam na análise de viabilidade econômica. Observou-se que, de modo geral, o cliente/usuário visualiza apenas o investimento inicial a ser despendido, desconsiderando o tempo de retorno do investimento com os custos de operação ao longo do tempo de vida útil do SAS. Portanto, a decisão sobre a utilização de aquecedores solares deve envolver as variáveis identificadas pelo projetista de SAS, e a melhor opção custo - benefício deve ser discutida junto ao cliente/ usuário.

CAPÍTULO 5 –

DIRETRIZES PARA O PROJETO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR (SAS) EM EDIFICAÇÃO DE USO RESIDENCIAL

5. DIRETRIZES PARA O PROJETO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR (SAS) EM EDIFICAÇÃO DE USO RESIDENCIAL

O presente capítulo propõe o estabelecimento de diretrizes para o projeto de SAS incorporado ao projeto de edificações residenciais. Além disso, apresenta um modelo de ficha técnica sintetizando as principais características do projeto desse sistema.

5.1 DIRETRIZES PROJETOuais RELACIONADAS A ASPECTOS FÍSICOS E OPERACIONAIS

5.1.1 Sombreamento

O item 4.2.3.2 abordou sobre o impacto negativo que o sombreamento pode causar na eficiência do sistema. Sendo assim, recomenda-se que os coletores solares, responsáveis pela captação de energia solar, sejam instalados de modo a evitar locais sujeitos a sombras projetadas pela vegetação do entorno, por edificações vizinhas, elementos arquitetônicos, reservatório térmicos, outros coletores etc.

As interferências devem ser identificadas durante visita técnica ao local onde será construída a edificação (EKOS BRASIL; VITAE CIVILIS, 2010). Alguns dos entrevistados citaram a possibilidade de utilização de programas computacionais de simulação (exs.: *software RETScreen*⁵⁵, *Autodesk Ecotect*, *Scripting*⁵⁶) para identificar áreas sombreadas, considerando a altura dos obstáculos existentes no entorno e a trajetória aparente do Sol em diferentes épocas do ano (equinócios e solstícios). De acordo com Frota (2004) pode-se ainda utilizar o método de projeções mongeanas da geometria descritiva, para identificação do traçado de sombras, conforme ilustrado na figura 5.1.

⁵⁵ O *software* canadense *RETScreen* é uma ferramenta de suporte à tomada de decisão no setor de energia limpa, disponível em: <http://www.retscreen.net/pt/home.php>

⁵⁶ O programa *Scripting* foi desenvolvido pela equipe do Green Solar em 2007, financiado pelo convênio ECV-184/2006, celebrado entre a Eletrobras/Procel e a PUC Minas.

Figura 5.1– Desenho esquemático para identificação do traçado de sombras.

Fonte: LIMA (2011).

Sendo que:

- PH = plano horizontal
- PV = plano vertical
- a (azimute) $+180^\circ$ = a sombra se projeta no sentido contrário àquele da proveniência do Sol.
- h = ângulo da altura solar
- h_v = ângulo da altura solar no plano vertical

A partir do estudo de sombreamento, o arquiteto pode intervir, em diferentes escalas, evitando ou reduzindo as áreas sombreadas para implantação do SAS. Dentre as possibilidades para evitar ou reduzir o sombreamento, destacam-se:

▪ **Escala de intervenção no planejamento urbano:**

Propor um traçado das ruas que permita o acesso solar de cada lote, de modo a melhorar a qualidade das edificações no conforto térmico e iluminação natural.

Widerski (2002) constatou no seu trabalho que o traçado das vias⁵⁷ influencia diretamente no posicionamento dos coletores solares. No perímetro estudado, em função das avenidas serem dispostas no rumo 50° NE/ SW, observou que apenas o lado esquerdo das mesmas seria beneficiado pela incidência solar, enquanto a face

⁵⁷ A área de estudo de Widerski (2002) avenidas estarem dispostas no rumo 50° NE/ SW e as ruas dispostas no rumo 40° NW/SE,

direita estaria direcionada ao sul, podendo inviabilizar a instalação do SAS. Verificou-se uma situação semelhante em relação às ruas, que estavam dispostas no rumo 40° NW/ SE, sendo que apenas o lado direito favoreceria o funcionamento pleno dos coletores.

▪ **Escala de intervenção no entorno:**

No item 4.2.3.2 abordou-se a importância de garantir a insolação e a iluminação natural das edificações, não comprometendo a eficiência térmica do SAS. Sendo assim, em futuros parcelamentos do solo devem ser assegurados os direitos de acesso ao sol, evitando a possibilidade de que uma nova edificação possa causar sombreamento aos coletores solares de uma edificação existente.

Seguindo essa premissa, destaca-se a aplicação do envelope solar que se define como “o maior volume que uma edificação pode ocupar no terreno de forma a permitir o acesso ao sol e luz natural da vizinhança imediata” (KNOWLES; BERRY, 1980, apud ASSIS, 2000, p. 167). A figura 5.2 apresenta opções de tipologias de edificação inseridas dentro do volume limítrofe do envelope solar.

Figura 5.2 – Opções de diferentes tipologias dentro do volume definido pelo envelope solar.

Fonte: CASABIANCA et al. (2001) apud PÉREZ (2007).

De acordo com Assis (2000), há dois métodos distintos para definição do perímetro do envelope solar, a saber:

a) Os ângulos de obstrução verticais são aplicados aos limites laterais, frontal, e de fundos do lote ou área, formando planos imaginários cuja interseção determina o volume do envelope solar, exemplificado na figura 5.3.

Figura 5.3 – Construção do envelope solar - ângulos de obstrução.

Fonte: ASSIS. (2000) adaptado por PÉREZ (2006).

b) Aplicação de ângulos de altura solar nas extremidades das divisas do lote ou área, determinando o volume do envelope pelo cruzamento diagonal dos ângulos sobre o terreno, ilustrado na figura 5.4.

Figura 5.4 – Construção do envelope solar - ângulos de altura solar.

Fonte: ASSIS. (2000) adaptado por PÉREZ (2006).

Cabe destacar a existência de diversas variáveis para elaboração do envelope solar, tais como: latitude; orientação; tamanho do lote; período de insolação desejado e afastamentos entre as edificações. É importante também considerar as exigências psico-fisiológicas das pessoas com relação às condições climáticas do local

(temperatura do ar externo e radiações solares incidentes nos planos verticais) e a geometria do entorno construído e pela posição do sol (PÉREZ, 2007).

▪ Escala de intervenção no paisagismo:

Conforme verificados nos trabalhos de Widerski (2002), Krause-Barroso (2006) e Mendonça (2009), as espécies arbóreas existentes⁵⁸ próximas aos coletores solares implantados interferem na eficiência do SAS devido ao sombreamento decorrente dos diferentes períodos do dia e do ano. Para evitar que os coletores solares sejam posicionados em áreas sombreadas pela vegetação é importante realizar um estudo paisagístico, considerando os seguintes elementos ilustrados na figura 5.5:

Figura 5.5 – Desenho esquemático do estudo paisagístico do lote.

Fonte: elaborada pela AUTORA (2012).

A figura 5.5 ilustra dois perímetros: o entorno e o lote. Na escala entorno, deve-se identificar a existência de vegetação circundante ao lote. Caso seja afirmativo, recomenda-se obter informações sobre a altura da espécie arbórea na sua fase adulta, a posição e a distância dela em relação ao lote e uma simulação de projeção da altura o Sol nos períodos dos solstícios (verão e inverno) e do equinócio

⁵⁸ Exemplos de espécies arbóreas identificadas no trabalho de Widerski (2002): Ipê-roxo (altura de 8 metros e oito metros de diâmetro de copa); Sibipiruna (altura de oito metros e seis metros de diâmetro de copa); Araucária (altura de oito metros e quatro metros de diâmetro de copa) e coqueiros com doze metros de altura.

(primavera e outono). Dessa forma, pode-se optar por um tipo de cobertura que permita que os coletores solares não sejam posicionados em áreas atingidas pelo sombreamento da vegetação existente, bem como sejam estabelecidos parâmetros a serem seguidos pelo projeto paisagístico de vegetação a ser implantada.

Na escala lote, para seleção de novas espécies arbóreas, é importante obter dados sobre as dimensões de caule, copa e raízes, características relacionadas à queda de folhas ou de galhos, bem como o tempo de vida estimado. A partir dos dados, recomenda-se considerar qual a distância mínima que a espécie arbórea deve ter em relação aos coletores solares, de modo a não gerar sombra sobre eles.

▪ Escala de intervenção na edificação:

A área coletora em geral é instalada sobre a cobertura da edificação, seja ela plana ou inclinada. Entretanto, há outros equipamentos e elementos arquitetônicos que podem compartilhar o mesmo espaço. No caso de uma residência unifamiliar, observa-se a presença de antenas e reservatórios de água fria e/ ou água quente. Nas edificações residenciais multifamiliares, além do espaço previsto para o reservatório de água, devem ser consideradas as dimensões da casa de máquinas de elevadores (quando houver), a altura dos pára-raios e das antenas, conforme ilustrado na figura 5.6

Figura 5.6 – Desenho esquemático de elementos arquitetônicos e equipamentos sob a cobertura plana.
Fonte: elaborada pela AUTORA (2012).

▪ Escala de intervenção nos componentes:

A ABRAVA (2008) recomenda adotar uma distância mínima entre os coletores solares, assegurando a luminosidade em todos os coletores sem que ocorra a projeção de sombra nos coletores laterais e posteriores, conforme apresentado na equação 5.1, tabela 5.1 e figura 5.7.

$$d = h \times k \quad (5.1)$$

Sendo que,

d = distância;

h = altura;

k = fator adimensional

Tabela 5.1 – Fator k

Latitude (°)	5 (N)	0	- 5 (S)	-10 (S)	-15 (S)	-20 (S)	-25 (S)	-30 (S)	-35 (S)
K	0,541	0,433	0,541	0,559	0,793	0,946	1,126	1,347	1,625

Fonte: ABRAVA, 2008.

Figura 5.7 – Distância mínima entre coletores planos fechados.

Fonte: ABRAVA, (2008, p. 89).

5.1.2 Posicionamento inadequado dos componentes de SAS

5.1.2.1 Coletores solares voltados para fachada sul.

Existem soluções que podem ser adotadas nos casos em que os coletores estão voltados à fachada sul. Contudo, a decisão pela opção adequada depende das prioridades de valores e requisitos definidos com o usuário, bem como depende dos requisitos de desempenho do SAS a serem cumpridos. No quadro 5.1 são apresentados os aspectos positivos e negativos das possíveis soluções:

Quadro 5.1 – Soluções para a situação em que a área coletora está voltada para fachada sul.

Soluções	Aspectos positivos	Aspectos negativos
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Instalar um suporte metálico, redirecionando os coletores para direção norte. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Melhoria da eficiência térmica do SAS (ver item 4.2.3.1). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Falta de simetria, proporção, posição dos coletores divergente com a direção da cobertura, comprometendo a estética da edificação (ver quadros 4.1 e 4.3); ▪ Custo adicional referente à fabricação e instalação do suporte metálico (ver quadro 4.1); ▪ A ação do vento no suporte pode ser potencializada pelo arranjo físico exigindo estruturas mais robustas (ver item 3.1.1); ▪ A falta de manutenção periódica da vedação dos furos de fixação pode acarretar possíveis infiltrações na cobertura (ver item 3.2.1).
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Especificar outro tipo de coletor que tenha menor reflexão de raios solares em comparação com o coletor plano fechado (tubo evacuado; coletor plano aberto, painel termodinâmico). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flexibilidade no posicionamento da área coletora, tanto na inclinação como na orientação. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No caso de utilização do coletor plano aberto, a superfície coletora ocupará uma área maior devido a seu baixo desempenho (ver item 2.2.1.2); ▪ Em relação utilização de tubos evacuados ou painéis termodinâmicos, os pontos críticos são: falta de certificação de órgãos brasileiros; custo elevado, com poucos fabricantes/fornecedores no Brasil (ver itens 2.2.1.3 e 2.2.1.4).
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Propor um sistema de aquecimento de água que não seja o SAS (gás, elétrico). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Funcionamento independente das condições climáticas locais e do posicionamento dos equipamentos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Opções que resultam aumento nos gastos mensais com energia se comparadas com a utilização do SAS; ▪ O não aproveitamento de um recurso natural e prontamente disponível.

Fonte: Elaborado pela AUTORA (2012).

As soluções apresentadas no quadro 5.1 são utilizadas pelos projetistas para avaliar a viabilidade de instalação do SAS em uma edificação já concebida ou existente. Entretanto, se a instalação desse sistema for considerada na fase inicial de projeto, o arquiteto pode intervir na implantação da edificação no terreno, considerando a orientação em relação ao sol e propor um projeto de cobertura que permita o posicionamento adequado dos coletores solares, conforme ilustrado na figura 5.8.

Figura 5.8 – Diferentes configurações de cobertura que permitem o posicionamento adequado dos coletores solares.

Fonte: elaborada pela AUTORA (2012).

Observa-se que há configurações de cobertura que favorecem o posicionamento da área coletora, mesmo que a testada principal do lote seja voltada à fachada sul.

5.1.2.2 Inclinação dos coletores solares inferior a 15° .

No item 3.3.2 foi mencionado que os coletores solares estão mais vulneráveis ao acúmulo de poeira se estiverem posicionados no ângulo inferior a 15° , correspondendo a 27% de declividade. Porém, observa-se que, na prática de mercado, os coletores são instalados sobre coberturas existentes, tendo em vista a economia no custo de suporte metálico ou por razões estéticas. Sistemas de cobertura revestidos com telhas de grandes dimensões que podem ser instaladas com baixas declividades (telha de fibrocimento, telha metálica), a inclinação dos coletores solares, se posicionados diretamente sobre o telhado, podem resultar em inclinação inferior a 15° , prejudicando assim o funcionamento pleno do sistema.

A figura 5.9 apresenta uma solução simples que pode ser prevista na fase de projeto, ou seja, optar por uma inclinação do telhado equivalente ao ângulo considerado ideal para instalação do conjunto de coletores, que corresponde ao ângulo igual ao da latitude local mais 10° , conforme os valores apresentados na tabela 4.2.

Figuras 5.9 – Telhado com inclinação superior a 15°.
Fonte: elaborada pela AUTORA (2012).

Caso a cobertura seja plana torna-se necessária a instalação da estrutura de suporte, conforme ilustrado na figura 5.10. Constata-se que essa solução permite o posicionamento dos coletores na inclinação ideal, ao mesmo tempo, propõe um elemento construtivo que oculte o coletor solar para o observador.

Figura 5.10 – Platibanda projetada de modo a ocultar o coletor solar.
Fonte: elaborada pela AUTORA (2012).

Para obtenção da altura ideal do elemento construtivo deve-se definir o ângulo de inclinação e o comprimento do coletor solar especificado, e posteriormente, aplicar a função trigonométrica do seno. Por exemplo, se o coletor solar especificado tiver dois metros de comprimento e o ângulo ideal adotado seja igual a 33° (23°+10°) para cidade de São Paulo, temos um elemento construtivo com altura mínima de 1,09 metros. Deve-se, contudo, garantir que a altura não cause sombreamento aos coletores solares.

5.1.2.3 Instalação do reservatório térmico.

O item 3.1.1 trata dos requisitos de desempenho relacionados à segurança estrutural e indica critérios de cálculo e premissas de projeto a serem adotadas na fase de projeto, destacando que a opção do SAS em fase avançada do projeto ou

mesmo durante a construção e instalação do SAS durante reformas, requerem a revisão dos projetos e/ou reforços na estrutura.

Quando o SAS é especificado posteriormente à fase de projeto, a localização dos componentes é definida a partir do espaço disponível, gerando diversas adaptações ou mesmo improvisações. A localização inadequada do reservatório térmico pode comprometer a segurança do sistema estrutural da edificação, já que o peso desse componente representa uma carga pontual significativa. O quadro 5.2 apresenta opções de localização para instalação do reservatório térmico, contendo recomendações de projeto.

Quadro 5.2 – Opções de localização para instalação do reservatório térmico.

Opções de localização	Recomendações
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Casa de máquinas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A largura da porta de acesso deve ser superior ao diâmetro do reservatório térmico; ▪ Prever impermeabilização na laje de cobertura e o plano de manutenção preventiva do sistema de impermeabilizada ▪ Prever dreno no piso.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vão entre o forro e a cumeeira do telhado 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O reservatório térmico deve ser posicionado na altura recomendada, garantindo o funcionamento do sistema termossifão. Caso a altura disponível não seja suficiente, deve-se optar por sistema de circulação forçada.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sob a cobertura (externo) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deve-se considerar o peso do reservatório térmico sobre a cobertura. Se for necessário, reforçar a estrutura da cobertura e substituir o tipo de telha.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Torre 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A construção da torre requer projeto estrutural que deve ser previsto na fase inicial de projeto.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Porão 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Para o funcionamento do SAS será obrigatório o uso de motobomba (sistema de circulação forçada); ▪ Prever dreno no piso.

Fonte: Elaborado pela AUTORA (2012).

5.1.3 Inadequação na especificação de componentes.

O capítulo 2 apresentou as características gerais de cada componente do SAS, bem como, o seu respectivo funcionamento. Tais informações são importantes para que o arquiteto tenha subsídios na tomada de decisão de projeto ou na especificação correta do conjunto de componentes.

Uma das falhas mais frequentes na fase de especificação dos componentes é a ausência de um sistema de proteção anticongelamento, principalmente nos locais em que há registros de geadas e temperaturas baixas. Deve-se selecionar um tipo de sistema de proteção anticongelamento (ver item 2.2.6) que propicie melhor custo-benefício.

O tempo de vida útil dos componentes depende do tipo de material utilizado e das condições climáticas do local e do nível de agressividade do ambiente. Esses fatores interferem diretamente nas propriedades físicas e funcionais, podendo acarretar em vazamentos, quebras e a degradação precoce do material.

5.1.4. Falta de acessibilidade aos componentes do SAS

A falta ou dificuldade de acesso aos componentes do SAS está diretamente relacionada com a não previsão de dimensões mínimas dos espaços disponíveis e dos equipamentos na fase de elaboração do projeto.

De acordo com o item 3.2.6 desse trabalho, “devem ser previstas em projeto as dimensões mínimas dos componentes a serem instalados, prevendo o espaço necessário para ação de manutenção e operação do sistema”. Sendo assim, a tabela 5.2 apresenta uma relação de dimensões aproximadas de reservatórios térmicos e de coletores solares disponíveis no mercado nacional.

Tabela 5.2 – Relação de dimensões aproximadas de reservatório térmico e coletor solar.

Reservatório térmico			Coletor solar plano fechado	
Capacidade (litros)	Diâmetro (cm)	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Comprimento (cm)
200	60	120	74	194
300	60	130	80	200
400	60	160	100	103
500	60	190	100	200
600	60	230	-	-
800	80	280	-	-
1.000	80	380	-	-
2.000	110	240	-	-
3.000	110	360	-	-
4.000	130	400	-	-
5.000	130	480	-	-

Fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DO COBRE; SOLETROL, s/d.

Outro requisito importante a ser considerado no projeto é prever condições de acesso ao local de instalação do SAS, por meio de utilização de escadas fixas ou móveis e passarelas de circulação. A figura 5.11 ilustra imagens de uma instalação de SAS com boa acessibilidade aos equipamentos (reservatórios de água fria e quente), sendo previstos em projeto uma escada tipo marinheiro e área disponível para manutenção periódica do sistema. Contudo a integração com a arquitetura não foi considerada, prejudicando a estética e o aspecto visual da edificação.

Figuras 5.11 – Exemplo de instalação de SAS com boa acessibilidade aos equipamentos.

Crédito: MIYAZATO, T., 2011.

Cabe destacar que a escada tipo marinheiro com seis metros ou mais de altura, deve ser provida de gaiola protetora a partir de 2,00m (dois metros) acima da base até 1,00m (um metro) acima da última superfície de trabalho, conforme definido na NR 18 (BRASIL, 2003).

A figura 5.12 ilustra imagens de escada escamoteável, instalada no laboratório de energia solar (LABSOL/ UFRGS), com exemplo de solução a ser proposta para acesso aos componentes do SAS instalados na cobertura de edificações. Observa-se que essa solução reduz o espaço ocupado destinado para o acesso à cobertura.

Figura 5.12 – Escada escamoteável instalada no laboratório de energia solar (LABSOL / UFRGS).

Crédito: MIYAZATO, T., 2011

5.2 DIRETRIZES PROJETUAIS RELACIONADAS A ASPECTOS VISUAIS E ESTÉTICOS

5.2.1 Forma

Para garantir uma simetria do posicionamento da área coletora em relação à cobertura; é necessário definir a volumetria da edificação. Desse modo, recomenda-se atender aos seguintes procedimentos:

- Realização de estudo da localização dos pontos de consumo, visando à redução das distâncias percorridas pelas tubulações de água quente e fria;
- Definição das dimensões de cada ambiente, prevendo área necessária para a realização das atividades do usuário;
- Definição do número de pavimentos da edificação;
- Definição do local de instalação do reservatório térmico (ver quadro 5.2);
- Definição do tipo de cobertura (1 água, 2 águas, múltiplas águas, cobertura plana, com torre);

A figura 5.13 ilustra a instalação dos coletores solares associadas ao quesito “forma”.

Figura 5.13 – Instalação dos coletores associados à forma.

Fonte: Elaborada pela AUTORA (2012), baseada na publicação de *COMMUNATE DU PAYS D'AIX* (2005).

A inclinação do telhado interfere na volumetria da edificação, conforme ilustrado na figura 5.14 (ver item 4.2.3.1).

Figura 5.14 – Exemplo de volumetria da edificação conforme inclinação do telhado.

Fonte: MIYAZATO (2012).

A figura 5.15 apresenta as dimensões aproximadas da altura e distância relativa entre os coletores, reservatório térmico e reservatório de água fria, que são recomendáveis, pelas empresas fabricantes de SAS, permitindo que o sistema termossifão funcione satisfatoriamente.

As abreviações que aparecem nas legendas internas significam:

Hs: altura do suspiro em relação à tampa da caixa de água fria.

Hrr: altura entre o fundo da caixa de água fria e o reservatório térmico.

Hcr: altura entre o fundo do reservatório térmico e a parte superior dos coletores.

Dcr: distância entre a parte central do reservatório térmico e a parte superior dos coletores.

Figura 5.15 – Dimensões recomendáveis para o funcionamento do sistema termossifão.

Fonte: EKOSBRASIL, VITAE CIVILIS, 2010, p. 68

É importante que o arquiteto tenha conhecimento dessas dimensões, possibilitando que ele possa planejar as proporções da edificação (pano do telhado) de modo a propiciar o funcionamento pleno do sistema termossifão.

5.2.2 Proporção

Recomenda-se posicionar a área coletora proporcionalmente ao espaço disponível para sua instalação, conforme exemplificados na figura 5.16.

Figura 5.16 – Exemplos de instalações de área coletora proporcional ao espaço disponível.

Fonte: Elaborada pela AUTORA (2012), baseada na publicação de *COMMUNATE DU PAYS D'AIX* (2005).

É necessário que a área coletora seja dimensionada corretamente para o atendimento da demanda de água quente. Além disso, recomenda-se que os coletores solares sejam instalados de modo a garantir o equilíbrio hidráulico, sendo limitados pelo número máximo de quatro coletores interligados por bateria (ver item 2.2.1.7).

5.2.3 Inserção

Os coletores solares podem ser instalados de três formas distintas: (a) com suporte metálico; (b) sobrepostos na cobertura e (c) integrado na edificação, como elementos construtivos, conforme ilustrados na figura 5.17.

Figura 5.17 – Tipos de inserção do coletor solar na edificação.

Fonte: Elaborada pela AUTORA (2012), baseada na publicação de *COMMUNATÉ DU PAYS D'AIX* (2005).

A instalação deve garantir a estanqueidade da cobertura, de modo que os pontos de ligação e ancoragem sejam adequadamente projetados e executados.

5.2.4 Posição

O item 4.2.3 abordou os fatores condicionantes que interferem no posicionamento dos coletores solares. Porém, além dos fatores mencionados - latitude, inclinação, orientação e sombreamento - recomenda-se posicionar os coletores centralizados na cobertura; conforme ilustrada na figura 5.18 (*COMMUNATÉ DU PAYS D'AIX*, 2005).

Figura 5.18 – Área coletora posicionada de modo centralizado na cobertura.

Fonte: Elaborada pela AUTORA (2012), baseada na publicação de *COMMUNATÉ DU PAYS D'AIX* (2005).

Ressalta-se que a posição da área coletora interfere no funcionamento do sistema tipo termossifão. Quando os coletores solares são posicionados acima do reservatório térmico, deve-se prever em projeto uma válvula de retorno negativo ou se for necessário, a instalação de uma motobomba.

5.2.5 Associação

Os coletores solares e os reservatórios térmicos podem ser instalados em estruturas independentes, dependendo da área disponível para instalação e do programa de necessidades. O usuário pode, por exemplo, optar pela instalação do SAS independente da edificação, garantindo maior eficiência e melhor acessibilidade para realização de manutenção periódica.

De acordo com o documento publicado pela *Communauté Du Pays D'Aix* (2005), recomenda-se que os componentes do SAS sejam criteriosamente instalados associados à edificação e aos elementos construtivos, e não simplesmente dispostos isoladamente.

5.3 ESPECIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DO SAS

Para especificar os componentes do SAS integrando-os com a edificação, recomenda-se:

- Conhecer previamente as características técnicas e funcionais de cada componente do SAS (ver capítulo 2);
- Definir os níveis de desempenho desejáveis, a partir da seleção de requisitos a serem cumpridos (ver capítulo 3);
- Identificar os aspectos prioritários de modo a atender às necessidades do usuário (ver item 4.1).

A partir da análise dessas informações coletadas o projetista do SAS deve elaborar, em conjunto com o arquiteto, uma ficha técnica do projeto, conforme modelo apresentado no quadro 5.3:

Quadro 5.3 – Modelo de ficha técnica do projeto de SAS.

Itens	Descrição
Tipologia da edificação	☐ Residência unifamiliar ☐ Residência multifamiliar ☐ Habitação de Interesse Social
Localização	Latitude _____° Altitude _____m Clima _____ Direção dos ventos predominantes _____ Irradiação anual _____ Irradiação mensal _____
Arranjo	☐ Solar + auxiliar ☐ Somente solar ☐ Pré-aquecimento solar
Sistema de aquecimento auxiliar	☐ Elétrico – resistência elétrica ☐ Híbrido – chuveiro elétrico ☐ Gás ☐ Caldeira
Circulação	☐ Natural ou termossifão ☐ Forçada ou bombeada
Regime	☐ Acumulação ☐ Passagem
Armazenamento	☐ Convencional ☐ Acoplado ☐ Integrado
Alimentação	☐ Exclusiva ☐ Não-exclusiva
Alívio de pressão	☐ Respiro ☐ Conjunto de válvulas
Pressurização	☐ Sim ☐ Não
Anel de recirculação	☐ Sim ☐ Não
Sistema de proteção anticongelamento	Tipo ☐ Drenagem ☐ Recirculação ☐ Aquecimento ☐ Material tolerante ao congelamento – glicol
Rendimento	Produção mensal de energia _____ kWh/mês*m² Eficiência energética média _____ %
Coletor solar	Tipo ☐ Coletor plano fechado ☐ Coletor plano aberto ☐ Tubo evacuado ☐ Painel solar termodinâmico Posição ☐ Vertical ☐ Horizontal Dimensões _____ m X _____ m Área coletora _____ m² Inclinação _____ % Desvio em relação ao Norte Geográfico (ângulo de azimute de superfície) _____° Cobertura ☐ Vidro liso ☐ Vidro temperado ☐ Plástico

continua

continuação

	Aletas ☐ Cobre ☐ Alumínio ☐ Polímero Caixa ☐ Alumínio ☐ Aço inoxidável ☐ Madeira ☐ Polímero Isolamento ☐ Lã de rocha ☐ Lã de vidro ☐ Poliuretano Instalação ☐ Superfície ou cobertura plana ☐ Sobreposição arquitetônica (cob. inclinada) inclinação ____ % ☐ Integração arquitetônica Suporte ☐ Fio de cobre ☐ Alumínio ☐ Aço com proteção contra corrosão Arranjo hidráulico ☐ Série ☐ Paralelo ☐ Misto
Reservatório térmico	Posição ☐ Vertical ☐ Horizontal Dimensões Área para implantação _____ x _____ m Volume _____ m² _____ m³ Pressão de trabalho ☐ Baixa pressão - até 5 mca ☐ Alta pressão - até 40 mca Funcionamento ☐ Desnível ☐ Nível com o reservatório de água Arranjo hidráulico ☐ Série ☐ Paralelo ☐ Misto Material ☐ Polímero ☐ Cobre ☐ Aço inoxidável Transferência de calor ☐ Direto – sem trocador de calor ☐ Indireto – com trocador de calor
Trocador de calor	☐ Duplo tubo ☐ Casca e tubo ☐ Serpentinhas ☐ Placas
Sistema hidráulico	Tubulação e conexões do circuito primário ☐ Cobre ☐ Aço galvanizado ☐ PEX

conclusão

	() CPVC	
	Tubulação e conexões do circuito secundário	
	() Cobre	
	() PP	
	() PEX	
	() CPVC	
	Válvulas	
	() de bloqueio	_____ un
	() de retenção	_____ un
	() eliminadora de ar	_____ un
	() de alívio de pressão	_____ un
	() Motobomba hidráulica – rotor	_____ CV
	() Vaso de expansão – pressão	_____ bar
Sistema elétrico e de controle	() Sensor de temperatura	_____ un
	() Termostato	
	() Fluxostato	
	() Controle digital de temperatura	
	() Manômetro	
	() Quadro de comando do sistema	

Fonte: Adaptado de SZOKOLAY (1978); SUQUET (2006); NBR 15.569 (ABNT, 2008).

A especificação dos componentes do SAS deve priorizar os requisitos de desempenho que resultem na opção de melhor custo-benefício e também, contribuem para o maior rendimento do sistema e para a segurança no uso, operação e manutenção do SAS. Sendo assim, os requisitos de durabilidade; manutenibilidade; uso e operação, funcionalidade e acessibilidade e de segurança estrutural são apontados como prioritários na elaboração do projeto de SAS.

5.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO 5

Constatou-se que o arquiteto pode intervir em diversas escalas, na fase de projeto, visando à instalação adequada do SAS, a saber: (a) propor um traçado de malha urbana que beneficie a implantação dos lotes visando o aproveitamento da energia solar; (b) projetar dentro do limite definido pelo envelope solar, tanto para assegurar o acesso ao sol e luz natural, bem como, evitar a possibilidade de que uma nova edificação vizinha possa causar sombreamento aos coletores solares de uma edificação existente; (c) especificar tipos de espécies arbóreas, de acordo com o porte, a altura de crescimento, o diâmetro da copa, a distância em relação à instalação da área coletora; (d) definir previamente a localização dos equipamentos, considerando aspectos como: sombreamento, inclinação e orientação, associação hidráulica, os quais interferem diretamente no desempenho do SAS; (e) verificar se a especificação dos componentes atende aos requisitos de desempenho e as

expectativas do usuário; (f) garantir o acesso aos componentes do SAS para realização da manutenção periódica, prevendo as dimensões mínimas no local da instalação do SAS.

Recomenda-se, por fim, que o arquiteto busque inserir no projeto aspectos relacionados à forma, à proporção, à inserção, à posição e à associação, conciliando a eficiência do SAS com a estética da edificação, tendo em vista a integração arquitetônica entre os elementos construtivos e os componentes do SAS.

As diretrizes apresentadas permitem a elaboração prévia de um projeto arquitetônico integrado a soluções para redução de custos de implantação e manutenção, bem como de eventuais custos decorrentes da necessidade de adaptações durante o funcionamento do SAS.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação parte da premissa de que o planejamento detalhado da implantação do SAS, na fase inicial do processo de projeto de uma edificação, permite identificar estratégias de intervenção solucionando previamente os conflitos que possam interferir no desempenho desse sistema. Portanto, é importante compreender o funcionamento e as limitações dos componentes do SAS para que as decisões sejam organizadas em uma sequência lógica em função das expectativas e das necessidades do usuário.

Com base na articulação dos conteúdos de documentos técnicos, normas, recomendações de fabricantes, profissionais projetistas e centros de pesquisa sobre o tema, foram apresentadas informações consideradas essenciais para o desenvolvimento do projeto de SAS: (a) inserção do SAS no mercado nacional; (b) descrição geral das características técnicas e operacionais dos componentes do SAS; (c) requisitos e critérios de desempenho para projeto de SAS e sua interferência com outros sistemas da edificação; (d) associação dos requisitos e critérios aos valores de Hershberger (1999) e às orientações de projeto de SAS; (e) fatores condicionantes relacionados à viabilidade técnica e econômica; (f) problemas decorrentes da implantação inadequada do SAS; (g) proposição de diretrizes para o projeto de SAS.

A partir do levantamento realizado e dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

1. Parte significativa dos profissionais intitulados de especialistas em desenvolvimento de projeto de SAS não possui formação acadêmica direcionada ao conhecimento técnico em projetos e sistemas prediais, ou seja, não está habilitada e capacitada para atuar na compatibilização do projeto de SAS incorporada à edificação. Observou-se que há pouco envolvimento dos arquitetos e dos engenheiros no processo de desenvolvimento de projetos de SAS no Brasil, fato que pode ser atribuído à falta de informações técnicas sistematizadas que auxiliem esses profissionais na tomada de decisão;
2. O arquiteto desempenha a função de coordenar o fluxo de informações relativas aos requisitos de projeto dos demais sistemas da edificação, contribuindo assim na

compatibilização de soluções que propiciem a implantação adequada do SAS. Por isso, é necessário que os fatores condicionantes técnicos e econômicos sejam previamente conhecidos pelo arquiteto no início do processo para não onerar, dificultar ou até inviabilizar a incorporação desses sistemas à edificação, permitindo o uso racional das instalações e evitando gastos excessivos com a operação e a manutenção do sistema;

3. A elaboração do programa de necessidades permite que o SAS seja dimensionado de acordo com os hábitos e padrões de consumo do usuário (frequência e duração do uso de água aquecida, vazão de ducha), reduzindo a possibilidade do super ou subdimensionamento dos equipamentos a serem instalados. Constata-se que todos os sistemas de uma edificação apresentam limites de operação e, dessa forma, caso o usuário utilize qualquer sistema de modo não previsto no programa de necessidades, o sistema não funcionará adequadamente, podendo até mesmo representar riscos de uso e operação ao usuário;

4. O funcionamento satisfatório do SAS depende da interação do usuário, que deverá ser capaz de manusear os equipamentos e gerenciar o sistema durante o seu uso, seja o controle no consumo de água quente como a programação da realização da manutenção periódica;

5. Os elementos construtivos podem dificultar ou reduzir o nível de desempenho do SAS e, dessa forma, fatores condicionantes que podem prejudicar o funcionamento pleno do sistema devem ser analisados previamente, na fase de projeto. Tal situação acontece quando é realizada a especificação de materiais e componentes incompatíveis ao uso pretendido; quando o espaço é inadequado para instalações internas seja quando há falta ou dificuldade de acesso para inspeção e manutenção; ou ainda quando a orientação da cobertura não favoreça o aproveitamento da energia solar.

6. A partir do conhecimento do funcionamento e das características técnicas dos componentes do SAS é possível propor soluções que viabilizem a instalação do SAS em locais cujo uso do SAS não é recomendável inicialmente (exs. instalação dos coletores solares voltados à fachada sul ou em áreas parcialmente sombreadas);

7. As diretrizes de projeto para o SAS podem ser aplicadas em diferentes escalas de intervenção na fase de projeto da edificação residencial, considerando desde o planejamento urbano a componentes do SAS. Destacam-se as diretrizes relacionadas ao sombreamento, facilidade no acesso aos equipamentos do SAS para realização da manutenção periódica e a especificação técnica dos componentes do sistema.

Espera-se que o conjunto dos dados coletados e sistematizados auxilie a tomada de decisão pelos projetistas, principalmente pelo arquiteto, visando à integração do SAS à edificação para atendimento, satisfatório, das expectativas e necessidades do usuário final. O conhecimento dessas informações no início do processo de projeto [seja obra nova ou reforma] permite ao arquiteto organizar o programa de necessidades, de forma detalhada, de acordo com as condições do local de implantação, bem como possibilita uma análise prévia sobre a viabilidade da instalação do SAS, informando ao usuário sobre possíveis limitações do desempenho do sistema.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.

Como proposta para o desenvolvimento de pesquisas e investigações futuras, sugere-se:

- a) Sistematização de requisitos e de critérios de desempenho do SAS aplicados em edificações de uso multifamiliar, comercial, industrial ou de serviços;
- b) Mapeamento e análise de projetos que utilizem SAS integrados à edificação, em locais onde coletores solares sejam empregados como elementos construtivos;
- c) Desenvolvimento de sistemas de fixação de coletores solares e reservatórios térmicos que sejam integráveis aos sistemas de cobertura usuais no Brasil, reduzindo as falhas na estanqueidade das coberturas e melhorando a segurança e a durabilidade dessas fixações;
- d) Aplicação sistemática das diretrizes projetuais propostas nesse trabalho em estudos de caso, com registro dos resultados em um banco de dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, F. **Estudo do desempenho de um sistema de aquecimento de água por energia solar e gás.** 2006. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <www.lume.ufrgs.br/handle/10183/7377>. Acesso em: 15 nov. 2010.

AJUSTEC. **Aquecedor Solar Termodinâmico.** s/d. Disponível em: <http://www.ajustec.com.br/crbst_9.html>. Acesso em: 02 fev. 2011.

ANDRADE, A. S. de. **Desenvolvimento de indicadores de qualidade para instalações de aquecimento solar de grande porte e aquecimento distrital.** 2009. 156 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Mecânica) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

ARRUDA, L. B. **Operação de sistemas de aquecimento solar de água com controle de vazões em coletores planos.** 2004. 230 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

ASSIS, E. S. **Impactos da forma urbana na mudança climática: método para previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano.** 2000. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO et al. **Programa de Qualificação de Fornecedores de Sistemas de Aquecimento Solar: Manual geral.** São Paulo: QUALISOL Brasil-Comitê Gestor, 2007. 25 p. Disponível em: <<http://www.dasolabrava.org.br/qualisolbrasil>>. Acesso em: 09 nov. 2010.

_____. **Manual de capacitação em projetos de sistemas de aquecimento solar.** São Paulo, 2008. 138 p.

_____. **Guia de Parametrização da Lei Solar de São Paulo.** São Paulo, 2009. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10185:** reservatórios térmicos para líquidos destinados a sistemas de energia solar: determinação de desempenho térmico. Rio de Janeiro, 1988. 15 p.

_____. **NBR 10.184:** coletores solares planos líquidos: determinação do rendimento térmico. Rio de Janeiro, 1988. 25 p.

_____. **NBR 10.152 :** níveis de ruídos para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987. 4 p.

_____. **NBR 10.540:** aquecedores de água a gás tipo acumulação. Rio de Janeiro, 1988. 8 p.

_____. **NBR 13.532:** elaboração de projetos de edificações – arquitetura. Rio de Janeiro, 1995b. 10 p.

_____. **NBR 14.432:** exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – procedimento. Rio de Janeiro, 2001. 14 p.

_____. **NBR 14.037:** manual de operação, uso e manutenção das edificações - conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação. Rio de Janeiro, 1998. 5 p.

_____. **NBR 15.569:** sistema de aquecimento solar de água em circuito direto - projeto e instalação. Rio de Janeiro, 2008. 42 p.

_____. **NBR 15.575-1:** desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho - Parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2010. 52 p.

_____. **NBR 15.575-5:** desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho - Parte 5: requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2010. 54 p.

_____. **NBR 15.575-6:** desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho - Parte 6: sistemas hidrossanitários. Rio de Janeiro, 2010. 28 p.

_____. **NBR 15.747-1:** sistemas solares térmicos e seus componentes - Coletores solares. Parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2009 11 p.

_____. **NBR 15.747-2:** sistemas solares térmicos e seus componentes - Coletores solares. Parte 2: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2009. 117 p.

_____. **NBR 5.410:** instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2008. 209 p.

_____. **NBR 5.419:** proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro, 2005. 42 p.

_____. **NBR 5626:** instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998b. 41 p.

_____. **NBR 6.123:** forças devidas ao vento em edificações (versão corrigida). Rio de Janeiro, 1990. 66p.

_____. **NBR 7.190:** projeto de estrutura de madeiras. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

_____. **NBR 7.198:** projeto e execução de instalações prediais de água quente. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 6 p.

_____. **NBR 8.800:** projeto de estrutura de aço em edifícios. Rio de Janeiro, 2008. 237 p.

_____. **NBR 9.575:** impermeabilização – seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2003. 12 p.

_____. **NBR 9.952:** manta asfáltica com armadura para impermeabilização – requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1998. 17 p.

ÁVILA, C. **Energia solar pode reduzir consumo elétrico em até 17%.** Disponível em: www.mma.gov.br. Acesso em: 12 dez. 2011.

BENEDICTO, S. M. de. **Desempenho de sistema predial de água.** 2009. 186 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção Civil, Departamento de Centro de Ciências Exatas de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

Disponível em: <http://www.bdt.d.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=3048>. Acesso em: 12 dez. 2010.

BORGES, T. **Síntese otimizada de sistemas de aquecimento solar de água**. 2000. 139 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000. Disponível em: <<http://cutter.unicamp.br/document/?code=vtls000203978&fd=y>>. Acesso em: 11 dez. 2010.

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 out. 2001. Seção I –E.

BRASIL. Lei nº 11.977, de 7 de julho de 2009. Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas; altera o Decreto-Lei no 3.365, de 21 de junho de 1941, as Leis nos 4.380, de 21 de agosto de 1964, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 8.036, de 11 de maio de 1990, e 10.257, de 10 de julho de 2001, e a Medida Provisória no 2.197-43, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 8 jul. 2009. Seção I –E.

BRASIL. Ministério das Cidades. Conselho Curador do Fundo de Desenvolvimento Social. Resolução nº 141, de 10 de junho de 2009. Regulamenta a utilização de recursos da União previstos no Art. 17 da MP nº 459, de 25 de março de 2009, e no Art. 16 do Decreto nº 6.819 de 13 de abril de 2009, criando o Programa Habitacional Popular – Entidades – Minha Casa, Minha Vida, voltado ao atendimento das necessidades habitacionais de famílias de baixa renda, organizadas em cooperativas habitacionais ou mistas, associações e demais entidades privadas sem fins lucrativos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 10 jun 2009. Seção 1.

BRASIL. Decreto nº 7.499, de 16 de junho de 2011. Regulamenta dispositivos da Lei no 11.977, de 7 de julho de 2009, que dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 jun. 2011.

BRASIL. Ministério das Cidades. Conselho Curador do Fundo de Desenvolvimento Social. Resolução nº 166, de 15 de setembro de 2010. Altera a Resolução CCFDS Nº 141, de 10 de junho de 2009, que regulamenta o Programa Habitacional Popular Entidades - Minha Casa Minha Vida, do Fundo de Desenvolvimento Social - FDS. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 set. 2010. Seção 1.

BRASIL. Ministério das Cidades. Portaria nº 325, 7 de julho de 2011. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 7 de julho. 2011. Disponível em: <<http://www.sinduscon-rio.com.br/mcmv/325.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2011.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Eficiência Energética: premissas e diretrizes básicas. 134 f. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2011/Plano_Nacional_de_Eficiency_Energética_-_PNEf_-_final.pdf> Acesso em: 05 jan. 2012.

BRAZIL, O. A. V. **Regulação e apropriação de energia térmica solar pela população de baixa renda no Brasil**. 2006. 121 f. Dissertação (Mestrado em Regulação da Indústria de Energia) - Universidade Salvador, UNIFACS, Salvador, 2006.

CALLEN, H.B. **Thermodynamics and an Intr. to Thermostatistics**, 2a ed., Nova York: Wiley, 1985.

CARDOSO, L. C. Dimensionamento e instalação de aquecedor solar. **Téchne**, São Paulo, n. 138 , p. 1-4, jul. 2008.

CAVALCANTI, E. S. C.; LOPES, J. D. S.; LIMA, F. Z. **Energia solar para aquecimento de água**. Viçosa, CPT, 2008. 238 p.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS - (ELETROBRÁS). **Avaliação das instalações de aquecimento solar no Brasil**. Belo Horizonte: PUC Minas, 2011a. 88 p. Projeto Convênio nº ECV 184/2006 Eletrobrás/PUC-Minas.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS - (ELETROBRÁS). **Resultados PROCEL 2011: ano base 2010**. Rio de Janeiro, 2011b. 49 p.

CHERRY, E.; PETRONIS, J. **Architectural programming**. Whole Building Design Guide, National Institute of Building Sciences. 2009. Disponível em http://www.wbdg.org/design/dd_archprogramming.php. Acesso em 20 mai. 2011.

CIVILE, N. R.. **Contribuição para o programa de necessidades de laboratórios de química do ensino superior**. 2010. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Tecnologia da Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-11012011-163402/es.php>>. Acesso em: 15 mar. 2011.

COMISSÃO EUROPEIA. **Energia solar térmica**: manual sobre tecnologias, projecto e instalação. Programa ALTENER. Lisboa, 2004.

COMMUNAUTÉ DU PAYS D'AIX. **Pour L'Intégration Architecturale Des Capteurs Solaires Thermiques**. Provença, 2005.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Energia Solar para Aquecimento de Água**: instruções para projetistas e instaladores. Departamento de utilização de energia, Belo Horizonte, 1995.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Lições aprendidas: soluções para sustentabilidade em Habitação de Interesse Social com a Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU)**. São Paulo, 2010. 70 p.

DAVIS, J. R. **Stainless Steels** - ASM Specialty Handbook. (2.ed.) Ohio: ASM International, 1994.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal processes**. New York: John Wiley & Sons, 1980. 762 p.

EKOS BRASIL; VITAE CIVILIS. **Introdução ao sistema de aquecimento solar**. São Paulo: Virtual Laser, 2010. 132 p.

ESPAÑA. Ministério de Sanidad y Consumo. Real Decreto 865/2003 , de Julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevencion de la legionelosis. **Boletín Oficial del Estado**, Madrid, n. 171, p. 28055-28069, 18 jul. 2003.

ESPAÑA. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. **Boletín Oficial del Estado**, Madrid, n. 74, p. 11816-11831, 29 mar. 2006.

FANTINELLI, J. T. **Análise da evolução de ações na difusão do aquecimento solar de água para habitações populares Estudo de caso em Contagem - MG**. 2006. 316 f. Tese (Doutorado) - Curso de Planejamento de Sistemas Energéticos. Departamento de Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual De Campinas, Campinas, 2006. Disponível em: <<http://bit.ly/jOQeB4>>. Acesso em: 30 mai. 2011.

FRANCIA, S. R. Protección catódica-diseño de ánodos de sacrificio. **Revista Del Instituto de Investigación FIGMM**, San Marcos, v. 7, n. 13, p.37-44, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.org.pe/pdf/iigeo/v7n13/a06v7n13.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2011.<http://www.scielo.org.pe/pdf/iigeo/v7n13/a06v7n13.pdf>

FARIA, R. Lei aquecida. **Revista Techné**. São Paulo, ed.147, jun. 2009.

FERNANDES, F. M. R. Sistemas Solares Termodinâmicos. **Revista da Seção Regional Norte da Associação Nacional dos Engenheiros Técnicos**, Porto, v. 2, p.12-13,abr. 2008.

FLICK, U. **Introdução à pesquisa qualitativa**. Tradução Joice Elias Costa, 3 ed. Porto Alegre: Artemed, 2009. 405 p.

FRETIN, D. ; BRUNA, G. C. . A Lei da energia Solar em São Paulo - Análise e Comentários. In: NUTAU 2008. ESPAÇO SUSTENTÁVEL. Inovações em Edifícios e Cidades, 2008, São Paulo. NUTAU 2008. ESPAÇO SUSTENTÁVEL. Inovações em Edifícios e Cidades. São Paulo : FAU USP/ FUPA, 2008. v. 1. p. 1-8.

FROTA, A. B. **Geometria da Insolação**. São Paulo: Geros, 2004.

GOMIDE, T. L. F.; PUJADAS, F. Z. A. P.; FAGUNDES NETO, J. C. P. **Técnicas de inspeção e manutenção predial**. São Paulo: Pini, 2006.

GÜNTER, H. Como elaborar um questionário. In: PINHEIRO, J. de Q.; GÜNTER, H. **Métodos de pesquisa nos estudos pessoa-ambiente**. São Paulo: Casa do Psicólogo, 2008. p. 105-148.

HERSHBERGER, R. G. **Architectural programming and predesign manager**. 1999. Mc Graw -Hill. 506 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO COBRE. Componentes das instalações solares térmicas. São Paulo, 2006. 7 p.

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGIA. Instalaciones de Energía Solar Térmica. Madrid, 2002. 116 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO PROCEL. **Portaria nº 449. Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética edificações residenciais**. Novembro 2010. Disponível em: < http://www.inmetro.gov.br/legislacao/detalhe.asp?seq_classe=1&seq_ato=1627>. Acesso em: 19 abr. 2011.

KALLWELLIS, V. Superfícies seletivas para absorvedores solares. **Revista Sol Brasil**. São Paulo, nº02 p. 8-13 2010.

KEELER, M.; BURKE, B. **Fundamentos de Projeto de Edificações sustentáveis**. Porto Alegre: Bookman, 2010. 362 p.

KOMECO. **Manual de instalação: aquecedor solar**. Palhoça, 2008. 35 p.

KUMLIN, R. R. **Architectural programming: creative techniques for design professionals**. São Carlos: Rima, 1995. 261 p.

LAFAY, J. M. S. **Análise Energética de Sistemas de Aquecimento de Água com energia solar e gás**. 2005. 173 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – PROMEC, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/5911?show=full>>. Acesso em 29 nov. 2010.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997. 192 p.

LAMBERTS, R. et al. (Ed.). **Casa eficiente: consumo e geração de energia**. Florianópolis: Ufsc/ LabEEE, 2010. 80 p.

LIMA, J. B. A. **Otimização de sistemas solares de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa TRNSYS**. 2003. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: < http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde0303_2004-153752/pt-br.php>. Acesso em 01 ago. 2010.

MENDONÇA, B. V. de. **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 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Departamento de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/.../dissert_revisao_aconfirm3.pdf>. Acesso em: 14 out. 2010.

OURO FINO INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. **Instalação do sistema de aquecimento solar**. Ribeirão Pires, 2010. 42 p.

PASSOS, J. C. Carnot e a Segunda Lei da Termodinâmica. **Revista de Ensino de Engenharia – ABENGE**, Passo Fundo, p.01-10, 2003.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RÜTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar**, ISBN 978-85- 17-00030-0. São José dos Campos – Brasil: INPE, 2006.

PEREIRA, E. M. D. et al. Energia solar térmica. In: TOMASQUIM, M. T. **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência: CENERGIA, 2003. p. 239-280.

PEREIRA, R. W. L. 2010. **Economia de energia na perspectiva do Plano Nacional e Energia 2030: o papel do aquecimento solar**.

PEREZ, D. R. C. **O envelope solar e o direito ao sol**. 2007. 177 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Construção) – Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007. Disponível em: <www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp033680.pdf> Acesso em: 16 nov. 2011.

PERRY, R. H., BENSKOW, L. R., BEIMESCH, W. E., et al. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. 8ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2008.

POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. Corpo de Bombeiros. **Instrução Técnica nº 10 Controle de materiais de acabamento e de revestimento**. 2011. Disponível em: <http://www.ccb.polmil.sp.gov.br/normas_tecnicas/its_2011/INSTRUCAO_TECNICA_10-2011.pdf>. Acesso em: 22/012/2011.

PORTAS, N. Funções e exigências de áreas da habitação. Lisboa: MOP Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1969. 86 p.

PRADO, R. T. A. et al. **Levantamento do estado da arte: Energia Solar**. Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável. FINEP. Projeto 2386/04. Documento 2.3. São Paulo, 2007.

RAIMO, P. A. **Aquecimento de água no setor residencial**. 2007. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Escola Politécnica /Faculdade de Economia e Administração /Instituto de Eletrotécnica e Energia e Instituto de Física), São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2007/Teses/RaimoPatriciaAbdala.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2011.

RAIMO, P. A. ; FAGÁ, M. T. W. . Avaliação do Tempo de Retorno dos Sistemas de Aquecimento Solar de Água no Setor Residencial. In: XI Congresso Brasileiro de Energia, 2006, Rio de Janeiro. **Anais...**, 2006. v. 2. p. 835-844.

REDE BRASIL DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR, 2006. **Noções iniciais sobre o aquecimento solar**. Disponível em: <<http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/manualiniciais.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2010.

REVISTA SOL BRASIL. São Paulo: Departamento Nacional de Aquecimento Solar, n. 7, jul. 2011a. 19 p.

REVISTA SOL BRASIL. São Paulo: Departamento Nacional de Aquecimento Solar, n. 8, set. 2011b. 19 p.

REVISTA SOL BRASIL. São Paulo: Departamento Nacional de Aquecimento Solar, n. 9, dez. 2011c. 19 p.

RÍSPOLI, Í. A. G. **O aquecedor solar brasileiro: teoria e prática em prol de uma transferência de tecnologia sustentável**. 2008. 245 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

RÍSPOLI, Í. A. G. **Estudo do aproveitamento da energia solar para aquecimento de água em edificações unifamiliares de baixa renda**. 2001. 234 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

ROAF, S.; FUENTES, M.; THOMAS, S. **Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável**. Tradução Alexandre Salvaterra. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

RODRIGUES, D.; MATAJS, R. **Um Banho de Sol para o Brasil**: o que os aquecedores solares podem fazer pelo meio ambiente e a sociedade. São Lourenço da Serra: Vitae Civilis. Instituto Para O Desenvolvimento, Meio Ambiente e Paz, 2004. 125 p. Disponível em: <<http://www.ufsj.edu.br/portal-repositorio/File/mestradoenergia/UmBanhoDeSol.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2010.

ROMÉRO, M. de A.; ORNSTEIN, S. W. (coordenadores/ editores). Avaliação Pós-Ocupação. **Métodos e Técnicas Aplicados à Habitação Social**. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído; Financiadora de Estudos e Projetos, 2003.

SÁLES, I. C. F. de. **Análise da substituição do chuveiro elétrico por aquecedor solar**: uma contribuição ao setor elétrico na conservação de energia. 2008. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008. Disponível em: <http://bdtd.ufal.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=613>. Acesso em: 15 nov. 2010.

SÃO PAULO (MUNICÍPIO). Lei nº 14.459, de 03 de julho de 2007. Acrescenta o item 9.3.5 à Seção 9.3 - Instalações Prediais do Anexo I da Lei nº 11.228, de 25 de junho de 1992 (Código de Obras e Edificações), e dispõe sobre a instalação de sistema de aquecimento de água por energia solar nas novas edificações do Município de São Paulo. **Diário Oficial do Município de São Paulo**, SP, 04 jul. 2007.

SÃO PAULO (MUNICÍPIO). Decreto nº 49.148, de 21 de janeiro de 2008. Regulamenta a Lei n.º 14.459, de 3 de julho de 2007, que acrescenta o item 9.3.5 à Seção 9.3 - Instalações Prediais do Anexo I da Lei nº 11.228, de 25 de junho de 1992 (Código de Obras e Edificações), e dispõe sobre a instalação de sistema de aquecimento de água por energia solar nas novas edificações do Município de São Paulo. **Diário Oficial do Município de São Paulo**, SP, 22 jan. 2008.

SIQUEIRA, D. A. **Estudo de desempenho do aquecedor solar de baixo custo**. 2009. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009. Disponível em: <http://www.bdtd.ufu.br/tde_arquivos/12/TDE-2009-08-12T121523Z-616/Publico/dis.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2010.

SOARES, R. M.; RODRIGUES, D. **Políticas Públicas de incentivo ao uso de sistemas de aquecimento solar no Brasil**: acompanhamento das leis aprovadas e dos projetos de lei em tramitação. São Paulo: Iniciativas Cidades Solares, 2010. 50 p. Disponível em: <http://www.cidadessolares.org.br/conteudo_view.php?sec_id=12>. Acesso em: 15 nov. 2010.

SOUZA, A. G. L. de. **Desenvolvimento de software para projeto de sistemas centralizados de aquecimento solar de água**. 2009. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio De Janeiro, 2009. Disponível em: <www.ppgem.eng.uerj.br/.../2009/DissertacaoAdriano-ppgem2009.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2010.

SPRENGER, R.L. **Aplicação do sistema fechado no aquecimento solar de água de baixo custo para reservatórios e residenciais isolados termicamente**: Concepção e

Comissionamento de um Sistema Piloto de Testes. 2007. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <<http://www.ppgcc.ufpr.br/dissertacoes/d0087.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2010.

SUQUET, P. P. **Proyecto y cálculo de instalaciones solares térmicas**. Madrid: Editorial Fundación COAM, 2006. 208 p.

SZOKOLAY, S. V. **Energia solar y edificación**. 1ª Barcelona: Blume, 1978. 196 p.

SZOKOLAY, S. V. **Arquitectura solar**: realización y proyectos a escala mundial. 1ª Barcelona: Blume, 1983. 278 p.

TORAIWA, R. Y.; ALENCAR, C. A.; MESQUITA, M. Trocadores de calor para aquecimento solar. **Revista Sol Brasil**. São Paulo, nº08, p. 14-17, 2011.

TUMA Industrial Ltda. **Manual de Instalação e manutenção**. Belo Horizonte, s/d. 21 p.

UNIVERSIDADE DO SOL. **100 dicas técnicas**: aquecedores solares de água. São Manuel: Fundação Augusto Mazzon, 2005. 120 p.

VILAR, W. **Química e tecnologia de poliuretanos**. 3a Ed., Vilar Consultoria: Rio de Janeiro, 2004.

YIN, R. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. Porto Alegre:Bookman, 2010. 4 ed.248 p.

WEISS, W.; MAUTHNER, F. **Solar Heat Worldwide**: markets and contribution to the energy supply 2008. Áustria: IEA, 2010. 54 p.

WIDERSKI, R. **Estudo de Fatores Que Influenciam A Performance De Sistemas De Aquecimento D'água Com Coletores Planos**. 2002. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PECV0244.pdf>>. Acesso em: 09 jun. 2011.

ANEXOS

ANEXO A - ENTREVISTA - GESTOR DO DEPARTAMENTO NACIONAL DE
AQUECIMENTO SOLAR (DASOL) - EGD

PARTE I – Projeto de Sistema de Aquecimento Solar (SAS)

1.1 Na sua opinião, de que forma(s) o arquiteto (coordenador de projetos) poderá contribuir na otimização do projeto de SAS?

Resposta: O principal é conhecimento das variáveis dos projetos de SAS, e como melhor combinar essa tecnologia/conhecimento no contexto do estudo como uma solução integrada, já na fase de projeto das edificações. A partir de um projeto adequado, a construção ficará otimizada.

1.2 Em qual fase da implantação do SAS é verificado o maior número de ocorrências de patologias no sistema de aquecimento solar: projeto, instalação, operação ou manutenção? Há estudos recentes sobre a distribuição de frequência dos problemas associados ao funcionamento do SAS?

Resposta: Há uma pesquisa realizada em 2007, coordenada pela Professora Elizabeth Duarte Pereira, que indicou como o principal fator a falta de qualidade na realização das instalações hidráulicas. Vazamentos nas instalações hidráulicas, algumas ocorrências de quebra de vidro e raros casos de entupimento e ar na tubulação também foram verificados. Dessa forma, temos como principais aspectos aqueles relacionados à instalação da tubulação e do equipamento, o que exige profissionais com conhecimento específico e com prática, por exemplo, participantes do Programa Qualisol Brasil.

1.3 Existem pesquisas de acompanhamento sobre a utilização do “Guia de parametrização da Lei Solar de São Paulo” pelos profissionais do setor da construção civil, visando cumprir a lei nº 14.459/07? O grupo de trabalho tem previsão de revisar o conteúdo deste documento? Quais dados deverão ser complementados/ modificados?

Resposta: Não temos informações sobre a utilização. Além do guia de parametrização, o GT apresentou em maio 3 projetos conceituais de SAS, disponíveis no link [clique aqui](#). Atualmente estão sendo desenvolvidos estudos para disponibilizar metodologia de dimensionamento do volume de armazenamento/reservatórios.

1.4 Quais são os principais avanços no Brasil em relação ao desenvolvimento de projetos de SAS integrados à edificação (Building Integrated Solar Thermal Systems - BIST)?

Resposta: A cada ano a indústria se moderniza e busca soluções e aplicações criativas. A mais expressiva está relacionada à automatização dos sistemas com sensores de temperatura e de volume que garantem melhor gestão da demanda de água quente e do equipamento, combinados com outros sistemas auxiliares que fazem parte da instalação e com as características de uso, isso para ampliar economias e conforto.

Outra solução criativa é o chuveiro solar híbrido, utilizado nas habitações de interesse social, como o Programa Minha Casa, Minha Vida e projetos do CDHU, combinando o aquecimento solar e o chuveiro elétrico como sistema auxiliar.

Mas avanços mais expressivos ainda são aguardados no que se refere a materiais mais baratos e com propriedades que ampliem a transferência de calor e absorção da luz solar para fins de aquecimento, como as superfícies seletivas.

PARTE II – O setor brasileiro de SAS

2.1 De acordo com os dados disponíveis no site da DASOL, o Brasil apresenta uma área acumulada de aquecedores solares em torno de 6,24 milhões m². Esse valor corresponde somente aos dados das 31 empresas associadas ao DASOL ou abrange todas as empresas, incluindo as empresas não associadas?

Resposta: Os dados refletem todo o mercado nacional.

2.2 Há uma tendência no aumento da demanda de instalação de tubos evacuados no cenário brasileiro? Em caso afirmativo, o setor de SAS está preparado para atender tal demanda?

Resposta: Não temos registros da tecnologia de tubos evacuados e sua penetração no mercado nacional.

2.3 Quais são as exigências mínimas requeridas para que o projetista seja habilitado em desenvolvimento de projetos de SAS? Quais são as instituições autorizadas para promoção de cursos de capacitação profissional?

Resposta: Desejável conhecimento mínimo de 2º grau, preferencialmente técnico projetista, e que tenha conceitos sólidos em fenômenos físicos e mecânicos dos fluídos, termodinâmica, resistência e propriedades dos materiais, conhecimento sobre geometria solar, substituição energética e sua respectiva análise econômica. Não há uma instituição autorizada, mas algumas oferecem cursos regulares como o Senai em vários estados, como por exemplo a unidade do bairro do Tatuapé em SP e também os cursos promovidos pelo DASOL – Departamento Nacional de Aquecimento Solar da ABRAVA.

2.4 Alguns pesquisadores alegam que o Programa Brasileiro de Etiquetagem cria barreiras à entrada de novas marcas, modelos e produtos substitutos e também, por influenciar direta e indiretamente nos processos licitatórios. Por outro lado, é necessário investir em desenvolvimento de novos produtos de qualidade, que possam substituir matérias-primas nobres (alumínio, aço, cobre e vidro), as quais compõem o SAS convencional. Qual é o estágio atual de discussão sobre essa problemática?

Resposta: Não vemos o tema como “problemática”. Trata-se da busca pelo desenvolvimento de produtos de qualidade com preço justo, exigência de um programa do governo brasileiro - PBE, coordenado pelo Inmetro, para que a indústria disponibilize ao consumidor brasileiro produtos de qualidade, para diversos equipamentos. Faz sentido que requisitos de processos licitatórios busquem primar pela qualidade, como reconhecimento do desenvolvimento e em defesa dos interesses do consumidor. Contudo, vale buscar a opinião do Inmetro.

ANEXO B - ENTREVISTA
PROFISSIONAIS ESPECIALIZADOS NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS
DE SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR – EPP1

PARTE I – Sistema de Aquecimento Solar (projeto, instalação, operação e manutenção)

1.1 Na sua opinião, de que forma(s) o arquiteto (coordenador de projetos) poderá contribuir na otimização do projeto de SAS?

Resposta: Ele pode trabalhar em conjunto com o projetista de SAS de forma a otimizar o aproveitamento da energia com relação à localização do sistema de aquecimento, do reservatório térmico para que haja uma distribuição equilibrada da água quente e com relação ao aproveitamento natural do sistema termossifão, com relação a proximidade do reservatório com os coletores e melhor posicionamento dos coletores com relação à incidência solar e nível adequado de pressão de consumo.

1.2 Quais são os principais problemas identificados pelo usuário durante a operação do SAS?

Resposta: Tempo de demora de água quente nos pontos de consumo. Períodos de baixa insolação, pois nem sempre o sistema de complementação é adequado ou foi bem instalado.

1.3 Como funciona o processo de compatibilização de projeto entre os demais sistemas (hidráulico, elétrico, estrutural, arquitetônico)?

Resposta: Essa compatibilização muitas vezes não é feita em cima de uma planta de projeto formal. Normalmente, é feita no momento de construção quando se chega na fase da implantação do sistema hidráulico. A gente ajusta isso diretamente com instalador hidráulico. Entendo que uma compatibilização sobre o projeto fosse mais eficiente [...].

E o estrutural tem algum ponto crítico a ser considerado?

[...] Eu como engenheiro eletricista, não tenho conhecimento para fazer uma avaliação estrutural. O que a gente usa é o bom senso nesse caso. A gente sempre avalia que ponto vai ficar o reservatório térmico. O reservatório térmico numa

pequena instalação pode apresentar 500, 600 ou 700 kg de carga concentrada em m². É uma carga considerável. A gente sempre orienta que fique muito próximo das paredes ou em vigas de sustentação[...].

E o elétrico você me apontou os pontos de tomada, necessários para acionamento de bomba e também para sistema de aquecimento auxiliar. No caso isso também é resolvido na construção?

Isso é resolvido na parte final da obra, antes do acabamento. No momento da passagem elétrica isso tudo pode ser compatibilizado. Mas é claro se houver já uma definição. Normalmente, considerando que o projeto não contempla o detalhamento da parte solar... ele não fechou em que local ficará o sistema de aquecimento solar. [...] Vou pegar o case que vimos. Lá o sistema é de 800 litros com complementação elétrica, com resistência. Tem que ter uma fiação de 6 mm chegando lá. Lá vai ter um sistema de pressurização, sendo outro circuito de 20 ohms, bitola 2,5mm e disjuntor de 16 amperes. Vai ter um sistema de anel de recirculação. [...] Anel de recirculação é o sistema de retorno da água, composto de bomba de recirculação, pelo sistema de automação.

Seriam sensores?

Tem várias estratégias para fazer isso. Pode ser por sensores ou pode ser por temporização. Das duas formas são automatizadas. Por exemplo, pode ser por temperatura. Colocar um sensor de temperatura em um determinado local da tubulação. Se aquele local cair a temperatura, ele já liga o sistema de bombeamento...vai manter sempre aquele ponto no mesmo nível de temperatura [...] Agora uma residência que você vai usar 2 vezes o banho talvez 1 vez por dia seria um desperdício de energia muito grande mesmo com isolamento térmico pra manter aquecido. Então a gente utiliza outra estratégia que é por temporização, que é quando o usuário, o cliente for tomar banho ele acendeu luz, ele já dá um click no sistema de circulação. Vai acionar um temporizador, que vai ligar a bomba e vai ligar por 60 segundos, por exemplo.

Isso é programado?

É programado. Já programa o sistema para água quente. Já faz testes para saber se 60 segundos é tempo suficiente para água chegar lá. Aí ele desliga automaticamente. Tem que ter isso, porque senão o cliente toma banho e esquece e fica o dia inteiro circulando ou ele pega e aperta o negócio e fica um minuto esperando. [...] 40 segundos é tempo suficiente pra tomar banho e pra preparar tudo.

Chega no chuveiro, a água já está no barrilete lá em cima. A resposta não é imediata. A idéia é que em vez de demorar um minuto de água jogando pelo ralo que demore 10 segundos. O anel de recirculação é um item importante para reduzir o tempo de espera e o desperdício de água.

Esse sistema de anel de recirculação é utilizado em projetos multifamiliares?

Isso é muito comum em prédio, hotéis, mas é um conceito que não se usa em residência. Mas se você avaliar o ciclo de vida do negócio, você vai ver que isso faz toda diferença.

Qual é o tempo de vida útil do sistema de anel de recirculação

5 anos.

1.4 Nos casos em que a área disponível para implantação dos coletores solares está direcionada estritamente na face sul, quais são as possibilidades para viabilizar a instalação dos mesmos?

Resposta: Colocar uma estrutura ou propor um sistema alternativo que não seja o solar.

1.5 Quais programas computacionais utilizados para elaboração do projeto de SAS (dimensionamento de demanda de água quente, fração solar)?

Resposta: Calculo manual no excel. Existe um software de dimensionamento chamado Rettscreem. É um software canadense e é uma referência atual. É um software completo, é possível fazer ma simulação detalhada. Ainda não utilizei, apenas instalei.

1.6 Quais são os métodos utilizados para elaboração do estudo de sombreamento (geometria descritiva, software, visita técnica)?

Resposta: Observação in loco.

1.7 Em geral, os coletores solares instalados em residências unifamiliares são fixados por fios de cobre em caibros e vigas do telhado, e os furos de fixação são vedados com borracha de silicone ou manta asfáltica. Entretanto, é necessário que haja uma substituição periódica da vedação para evitar infiltrações de água. Dentro desse contexto, as empresas fabricantes de SAS estão desenvolvendo diferentes tipos de dispositivos de fixação de coletores

que garantam a estanqueidade do sistema e também, permitam a integração dos mesmos como elementos construtivos?

Resposta: Eu desconheço.

A preocupação que temos é a questão da estanqueidade. Por mais que a gente sabe que a cada 5 anos tem que ter manutenção preventiva.

A manutenção preventiva o tempo é menor, a cada 2 anos. Você viu que as placas sujam. E essa placa está instalada há 3-4 meses. As placas sujam mesmo. Tem muita região de área poluída. Fica uma sujeira preta. Aquilo incrusta de uma forma, que você acaba reduzindo sensivelmente o rendimento do sistema [...].

Tem algum dispositivo automatizado para limpeza dos coletores?

A maioria das instalações nunca foi limpa. Uma coisa que dever ser considerada é o acesso. Fundamental. Quando é muito acessível, o proprietário vai lá e dá uma olhada. Ele mesmo faz a limpeza. [...] A eficiência do sistema depende da manutenção. O sistema fica comprometido. [...] Shaft onde passa as tubulações e casa de máquinas é o local em que se concentram os equipamentos. Aquilo que a gente conheceu é uma casa de máquinas com torre de água. Então o acesso para o local onde está o equipamento é fundamental a longo prazo. Acesso é a facilidade de chegar ao local, facilidade de levar e retirar o equipamento. Não adianta um lugar que é facilmente acessível, porém não tem acesso para retirar o equipamento. Por exemplo, no caso em que a gente viu. A portinha era muito pequena, porém já tinha sido feito quando a gente chegou lá. Senão eu diria pode dobrar o tamanho da porta, eu preciso que o reservatório caiba, que possa sair por aí. O arquiteto pode fazer toda diferença [...].

Tem a questão da estratificação térmica, que favorece a eficiência do reservatório. Mas em geral, a gente verifica que os sistemas instalados, o reservatório fica na horizontal por causa de área disponível. [...] Isso realmente faz diferença?

[...] A temperatura do ponto alto e do ponto baixo, dependendo da diferença de altura é bastante significativa. Essa diferença de temperatura pode chegar a 10º, 15º, 20º. Por exemplo, lá em cima está 60º e embaixo, está 35º. É bastante possível, porque o sistema entra em regime, quando não tem movimentação de água, naturalmente vai se estratificar. Por que essa estratificação é boa para o sistema? Porque eu estou retirando do meu sistema, a água mais quente que tem, não é uma água misturada. Eu uso menos água para alimentar meu ponto de consumo. Por

exemplo, tem um reservatório de 1000 litros, só que para tomar banho vou usar 100 litros. Suponhamos que um período de pouca insolação, eu tenha pouca energia armazenada no sistema. A temperatura média é baixa. A temperatura média no reservatório é de 30°, lá no meio do reservatório. Mas lá embaixo é 25°, mas em cima é 45°, ou seja, mesmo que a temperatura média seja baixa eu consigo aproveitar a nata do negócio. [...] aumenta a probabilidade de eu ter uma energia de temperatura mais adequada para consumo. Vou utilizar menos complementação de energia. Agora, é claro, se for utilizar 1000 litros, não vai fazer muita diferença. [...] O fato de você ter um maior possibilidade de estratificação você faz com que a possibilidade de aproveitar melhor essa energia acumulada seja maior. Por isso, que aumenta a eficiência.

1.8 Na sua opinião, quais são os principais fatores que influenciam na falta de manutenção preventiva por parte dos usuários?

Resposta: Falta de acesso e falta de orientação.

Vocês chegam entregar algum manual de orientação? Tipo manutenção preventiva e corretiva?

A gente utiliza o próprio manual do fabricante. A principal dúvida em termos de SAS é quando a gente instala o sistema de complementação automatizado, que é o controlador de temperatura. Eles querem saber.. “É programado? Como faz essa programação? Ah... eu chego em certo horário como eu faço pra mudar? Como faço pra alterar a temperatura no set point?” [...] A gente precisava de controladores mais amigáveis. [...] Precisa de um sistema confiável e fácil de mexer.

PARTE II - Perfil do entrevistado

2.1. Formação profissional

Resposta: engenheiro eletricista

2.2 Tempo de experiência profissional em SAS

Resposta: 3 anos e 6 meses

2.3 Quantos cursos ou treinamentos sobre projeto e instalação de sistema de aquecimento solar você já participou?

Resposta: Não.

ANEXO C - ENTREVISTA
PROFISSIONAIS ESPECIALIZADOS NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS
DE SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR – EPP-2

PARTE I – Sistema de Aquecimento Solar (projeto, instalação, operação e manutenção)

1.1 Na sua opinião, de que forma(s) o arquiteto (coordenador de projetos) poderá contribuir na otimização do projeto de SAS?

Resposta: A melhor forma seria o arquiteto/engenheiro tirar as dúvidas antes de iniciar a construção. Altura de caixa d'água, tubulação, posição de telhado, etc.

1.2 Quais são os principais problemas identificados pelo usuário durante a operação do SAS?

Resposta: Nunca fazer manutenção no sistema sem orientação de um técnico certificado pelo QUALISOL.

1.3 Nos casos em que a área disponível para implantação dos coletores solares está direcionada estritamente na face sul, quais são as possibilidades para viabilizar a instalação dos mesmos?

Resposta: A instalação dos coletores pode ser corrigida com suportes, tanto para o ângulo quando para posição norte.

1.4 Quais são os métodos utilizados para elaboração do estudo de sombreamento (geometria descritiva, software, visita técnica)?

Resposta: Visita técnica

1.5 Quais são os dispositivos utilizados para fixação dos coletores? Qual material é utilizado para impermeabilização da cobertura, visando a estanqueidade do sistema?

Resposta: Os coletores podem ser instalados com fios de cobre amarrados no próprio madeiramento do telhado, em alguns casos também são fixados com

abraçadeiras ou em suportes de alumínio(caixa)dependendo do telhado. Não é de responsabilidade do técnico a impermeabilização, a instalação não danifica as telhas.

PARTE II - Perfil do entrevistado

2.1.Formação profissional

Resposta: Certificado QUALISOL

1.2Tempo de experiência profissional

Resposta: 15 anos

1.3Quantos cursos ou treinamentos sobre projeto e instalação de sistema de aquecimento solar você já participou?

Resposta:

1.4Em caso afirmativo, qual foi o principal motivo que levou a participar do curso e/ou treinamento sobre sistema de aquecimento solar?

Resposta:

- a. () obter informações técnicas sobre o sistema de aquecimento solar*
- b. () indicação de amigos do ramo profissional*
- c. () atender as exigências do cliente*
- d. () preocupação com meio ambiente*
- e. () outros (descrever)_____*

ANEXO D - ENTREVISTA

PROFISSIONAIS ESPECIALIZADOS NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR – EPP-3

PARTE I – Sistema de Aquecimento Solar (projeto, instalação, operação e manutenção)

1.1 Na sua opinião, de que forma(s) o arquiteto (coordenador de projetos) poderá contribuir na otimização do projeto de SAS?

Resposta: Infelizmente nossos profissionais da área da construção, isso envolvem arquitetos e engenheiros não tiveram aula de aquecedor solar. Em muitos casos a gente percebe que eles não tiveram nem a aula de hidráulica [...] Os conceitos ultrapassados e antigos. É muito comum observar alguns arquitetos e engenheiros que vem pro mercado da construção civil e continuam dimensionando os mesmos sistemas aquecimento lá do passado, ou seja, aquecedores centrais elétricos, que é um absurdo alguém ter isso, aquecedores de passagem elétricos, o tradicional chuveiro elétrico, e aquecedores de passagem a gás. É porque é o que eles encontram de oferta e material de informação. No aspecto solar, posso dizer pra você que o mercado está no ritmo bem crescente e vem evoluindo bastante, mas tem muito o que caminhar porque falta, não só no aspecto do profissional, mas a nível de cultura de um país, aonde o solar especificamente não faz parte ainda da cultura brasileira. [...] Porém, há um contra-senso porque é um país que há maior intensidade solar. Então, o que a gente percebe com o contato que a gente vai desenvolvendo gradativamente, o passo a passo, o boca a boca com os profissionais. A gente vê num primeiro contato a insegurança do profissional. “Será que isso funciona?”, “Será que isso é bom mesmo?” “O cliente vai ficar satisfeito?”, ou mesmo “Será que vale a pena?”, “Isso não é a energia do futuro?”... outros simplesmente buscam nem procurar saber detalhes porque estão envolvidos em conjuntos de construção de uma classe mais popular, os conjuntos habitacionais populares, e pensa que isso é coisa pra rico, que isso não se encaixa. Isso são só tabus. Temos produtos para todas as classes, desde as construções mais simples até as tops elites. E nós temos produtos que a qualidade e a tecnologia que existe no Brasil é de ponta, é coisa pra dar a plena satisfação [...]

1.2 Quais são os principais problemas identificados pelo usuário durante a operação do SAS?

Resposta: Olha o sistema solar depois de implantado, eu costumo dizer quanto menos você mexer é melhor. É um produto que trabalha com ações naturais, é um produto de baixíssima manutenção, é um produto que não te dá trabalho. Na realidade a questão envolve o início da implantação. Por exemplo, para que você tenha um sistema solar muito bem instalado e performance de funcionamento aí entra um profissional, o arquiteto, que deveria ter esse conhecimento lá na base, para nos dar apoio. A primeira coisa é que ele tem que projetar uma hidráulica específica de água quente. [...] Porque de resto hoje a gente tem sistemas para implantar em quase toda obra, facilidades de cada um tem suas características que facilita a instalação.

Qual é o sistema mais popular, o termossifão ou bombeado? O termossifão tem altura mínima e às vezes é necessário utilizar um sistema adaptado.

O sistema de termossifão é o mais popular, porém como você falou tem as alturas necessárias então, por exemplo, existem as adaptações no sentido de facilitar, facilitador da obra, como são a grande maioria das casas que dos sistemas usados no CDHU, minha casa minha vida, que são casas populares. Então nós temos um sistema popular de 200 litros onde todos esses desníveis foram eliminados e o sistema todo é colocado no telhado. Tanto a placa solar, o reservatório, uma pequena caixinha d'água... vai tudo pra cima do telhado. Então você coloca numa escala crescente, tipo uma escadinha e está feito o desnível necessário e um produto popular. Isso viabiliza uma instalação em qualquer casa

Tem outro modelo superior a 200 litros?

Esse modelo só tem 200 litros até porque como ele vai encima do telhado, estruturalmente o telhado não suportaria uma carga muito maior do que isso. Esse é uma condição para o telhado de barro, ele suporta tranquilo. Capacidade maior você começa a ter risco estrutural do telhado. Então nós não recomendamos [...].

Em residências de alto padrão tem muita procura por sistemas pressurizados, ou não?

Tem, essa é uma característica da má qualidade hidráulica da nossa rede pública. Por exemplo, se você for à Europa nos principais países, você não vai encontrar caixa d'água. As casas são todas alimentadas pela rede pública. Aqui o que a gente

chama de compartimento para guardar caixa d'água debaixo do telhado, na Europa é sótão, área útil. Aqui há necessidade de caixa d'água, e as pessoas imaginam que é para armazenar água, pra manter água numa eventual falta. Também serve para isso, mas esse não é o fato principal. São Paulo você precisa ter uma caixa d'água para estabilizar a pressão da rede pública, porque as variáveis são muito grandes. [...] O ideal seria prever dentro da arquitetura, uma estrutura onde você tivesse uma torrezinha que fizesse parte da arquitetura, de maneira que você tivesse uma coluna d'água satisfatória [...].

Como você pode dimensionar essa altura ideal? É algo meio empírico?

Essa questão de pressão não existe uma altura ideal porque sobretudo quando se fala do usuário final, cada um tem a sua percepção do que é o ideal. Tem gente que quer “apanhar” d'água. Quando a gente pensa numa coluna d'água de ducha, ou seja, da onde você tem o pressionador e a gravidade e a caixa d'água, em relação a ducha se você conseguir 2 metros a gente que é uma pressão satisfatória [...]

O sistema pressurizado onera quanto em relação ao sistema sem bomba?

Ele no mínimo dobra o investimento e também, dobra os custos do usuário. Por exemplo, o sistema pressurizado faz com que haja a necessidade de ter um sistema de maior porte, mais robusto, e ao mesmo tempo, ele exige que você tenha um volume de consumo de água muito superior a uma realidade. Porque quando você aumenta a pressão, o pressurizador, você também aumenta a vazão. Aquele banho tradicional que seria de 50 litros, no banho você gasta 100 litros. A médio prazo isso representa um custo significativo.

1.4 Como funciona o processo de compatibilização de projeto entre os demais sistemas (hidráulico, elétrico, estrutural, arquitetônico)?

Resposta: Quando você tem uma edificação que saindo de um padrão de uma casa, um prédio. Realmente você precisa conhecer o projeto como um todo, para que você já tenha as paredes hidráulicas que eu já falei. Você tem que lembrar que você terá uma hidráulica uma quente e uma de fria, que precisa estar no projeto, considerando vigas e colunas para passar a tubulação. Então num projeto isso é muito fácil de colocar. Agora depois da obra pronta fica mais difícil.

Geralmente, na prática de mercado da empresa, em termos de porcentagem generalizada, quando vocês são contratados em fase de projeto e em fase de obra construída?

Até um tempo atrás, por exemplo, tudo tem sua característica. Nós não éramos consultados nunca e de nenhuma parte. Por conta, não só pela lei solar de São Paulo, mas até as pessoas gradativamente vão mudando seus conceitos, pensando no seu lado ecológico, na questão financeira e energética. [...] Aqui em São Paulo existe uma particularidade que você bem destacou, que as edificações verticais são muito verticais. Então você tem uma pequena área de terreno mas uma edificação imensa para equipamento. O que acontece, você não tem área disponível, área de cobertura, área suficiente para atender a edificação. Essa lei solar pede para atender pelo menos 40% da edificação já pensando nisso. Por exemplo, Belo Horizonte considerada cidade solar, as edificações não são tão verticais, mais horizontais. Então elas estão mais ajustadas a realidade solar, até porque isso já é um conceito difundido há mais tempo. [...] E enquanto aqui em São Paulo você encontra situações pontais, aqui e ali, que começaram aparecer depois da lei solar.

1.4 Nos casos em que a área disponível para implantação dos coletores solares está direcionada estritamente na face sul, quais são as possibilidades para viabilizar a instalação dos mesmos?

Resposta: O suporte redirecionando para o norte. Não tem mágica.

Essa solução confronta os arquitetos...rs.

Você colocou um ponto muito bacana que envolve a questão da estética. Por exemplo, eu diria que essa situação que você descreveu e que eu dei a solução para você ela tem muito mais preocupação técnica do que estética. Quando você quer fazer algo assim, você tem uma estrutura robusta até para suportar carga de ventos. O estético é realmente algo que está na cabeça do arquiteto por uma questão de cultura. Só que é assim...o bonito só é bonito se ele tiver um valor. Se ele não tiver valor nenhum ele passa a ser feio. [...] Então este aspecto de beleza tem muito a ver com benefício. Aí vou inverter a bola pra você que é arquiteta... em alguns contatos que a gente tem com arquitetos renomados, que constroem casas de altíssimo padrão, na região Alphaville e Morumbi, alguns hoje começam a fazer questão de colocar os coletores muito visíveis, porque eles querem inclusive divulgar o apelo ecológico [...] Porquê são conceitos que estão também na Europa, no sentido de divulgar mais. Então aquilo que em alguns momentos podem parecer diferentes do nosso padrão, começa a ficar bonito, começa a ficar esteticamente correto, e começa a dar uma visão ecológica no processo. Então aquele telhado que

tem suporte assim é porque aquele imóvel é uma construção ecologicamente correta e que tem aproveitamento da energia solar para o aquecimento da água. Obviamente, se puder uma arquitetura para melhorar isso melhor.

Eu já vi algumas soluções de manter a direção sul e aumentar a área coletora, como se dobrasse.

Leve o seguinte conceito... o que aquece é o Sol. Então de que adianta você ter dois mil coletores na sombra? Essa questão de correção de área coletora ela é válida quando você tem um leste ou oeste. Assim, o leste é o sol da manhã que você aproveita. Você aumenta a área para aquele menor tempo de insolação você consegue o mesmo resultado final. Agora para sul, é o mesmo que dizer assim: "tenho um coletor na sombra" e qual é a diferença para ter 10 coletores na sombra.

1.5 Quais programas computacionais utilizados para elaboração do projeto de SAS (dimensionamento de demanda de água quente, fração solar)?

Resposta: Existe, mas não é aqui conosco. Temos um setor de engenharia, quando a gente tem um projeto específico a gente encaminha para lá. Um software de cálculo de vazão, de área coletora que tem ser dimensionada, o quanto você tem que produzir de energia para gerar aquela quantidade de calor e de água quente. Mas aí é um software que você não tem algo para disponibilizar porque tem diversas interfaces que você precisa alimentar de informações. Cada caso é um caso.

1.6 Quais são os métodos utilizados para elaboração do estudo de sombreamento (geometria descritiva, software, visita técnica)?

Resposta: Utilização do google. Existe hoje na Internet você busca dentro do google mesmo, você visualiza o imóvel e a localidade e você projeta. Onde você não tem esse recurso você tem que conhecer o projeto com uma bússola, direcionamento do Norte. [...] quando é o caso, quando você tem uma particularidade que o cliente não sabe exatamente especificar "olha tenho aqui minha casa, um prédio, mas tem uma árvore a tal distância, mais ou menos". Aí é bom ver.

Porque o Sol durante o ano. tem uma variação de altura diferente.

Vamos entender o seguinte. O melhor direcionamento do coletor solar é o norte. Vamos imaginar que o meu coletor está virado para o norte. Mas o outro lado da rua tem um prédio com 40 andares fazendo isso. De que adiante eu direcionar meu coletor para o norte? Obviamente que quando chega o verão, o Sol nasce no leste e

se põe no oeste. Então você não tem nenhum sombreamento. Então no verão, se você colocar o coletor para o sul ou para o norte é a mesma coisa, o Sol passar. Porém, quando chega nos períodos de meio de ano, ou seja, no inverno o Sol não vem mais a pino, ele vem lateralmente. Se você tem uma muralha aqui na frente, o que acontece? Então é isso que tem que ser identificado apenas. Se você tem sua parte de insolação que é o norte, se você tem alguma coisa que possa sombrear sobretudo nos períodos de menor intensidade solar.

Nesses casos teria alguma solução?

Não tem.

1.7 Em geral, os coletores solares instalados em residências unifamiliares são fixados por fios de cobre em caibros e vigas do telhado, e os furos de fixação são vedados com borracha de silicone ou manta asfáltica.

Resposta: [...]a gente construía aqui uma estruturinha com cantoneira de alumínio, com ferro galvanizado, vai ficando um tempo não pode ficar enferrujado, fora do telhado, elevadinho, e a placa em cima. Nós descobrimos duas coisas: a primeira que isso onerava o custo, muitas vezes o suporte acabava sendo mais caro que o investimento do solar; segundo, com as vibrações provocadas pelo vento, qualquer amarração que você desse com parafuso no madeiramento do telhado, aquilo ia vibrando e soltando. Então exigia constante manutenção para firmar o negócio. Se você simplesmente colocar o coletor solar em cima da telha do jeito que está esta foto, você eliminou as duas coisas: você eliminou o suporte, que é um custo e, eliminou as vibrações porque não tem mais área para passar a ventilação. E uma forma econômica e prática, fácil e segura, nos pontos de união da placa você com fio de cobre que resiste ao tempo, você amarra no próprio material no telhado, você tem um suporte fácil, prático e seguro. Agora, isso serve para todos? Não. Têm realidades que você precisa desenvolver um suporte de fixação, chumbadores.

Uma preocupação minha é em relação a estanqueidade da cobertura, que você faz um furo. Geralmente, o pessoal coloca um silicone ou manta asfáltica para vedar. Mas tem uma vida útil desse material, geralmente não tem manutenção.

Quando existe um agravante particular daquela obra, não dá. Mas em obras padrões como essa, não é algo que ocorre. Você vai fazer obviamente é na telha, ter um cuidado de fazer isso, fazendo a furação na capa e na calha, você faz um pequeno furinho de 3mm apenas pra passar a fiação, que já cobre esses furos. Aí você põe

um pouquinho de silicone ou manta asfáltica. Nem precisaria colocar o silicone, já que o furo é tão pequeno. Existem casos que não precisaria fazer furo nenhum, você põe debaixo da telha. Você eleva essa telha, passa por baixo e amarra no telhado.

Na Europa existem componentes específicos para que tenha uma integração com o coletor.

Existe também. É que são realidades de uso que não se aplicam. Por exemplo, existem normas européias que estão vindo, seguindo esse caminho muito bacana. Só que é mais ou menos assim, precisa tomar cuidado de aplicar um produto com uma norma européia e querer um custo indiano. No Brasil é muito assim.

O custo é um fator condicionante.

Tem que ter uma realidade de acordo com cada projeto.

Existem empresas que produzem esses suportes no Brasil?

Sim, existem empresas que atuam nesse setor.

1.8 Na sua opinião, quais são os principais fatores que influenciam na falta de manutenção preventiva por parte dos usuários?

Resposta: [...] A manutenção preventiva é a limpeza dos coletores. Essa é uma obrigatoriedade para todos. Qual é a periodicidade? Depende da localidade. Aqui em São Paulo a gente recomenda que haja uma lavagem do vidro dos coletores pelo menos 1 vez a cada 6 meses e uma drenagem do sistema pelo menos 1 vez por ano para eliminar impurezas da água.

No fotovoltaico também há preocupação dessa limpeza dos painéis. Tem pesquisas desenvolvendo tipo de película autolimpante, não sei se nos coletores solares já tem.

Ainda não tem. Esse aspecto de película autolimpante a gente começa a entrar de novo na questão de custo envolvido, porque tudo depende de que ambiente você tem para o acesso para essa limpeza, instalados numa condição que é impossível o acesso ou pelo menos um acesso facilitado. [...]

Nesse ponto eu acredito que o próprio arquiteto ou projetista possa contribuir de alguma forma em termos de facilitar o acesso. [...] Eu subi no telhado e a porta da casa de máquinas na laje de uma residência de alto padrão, a portinha para entrar era algo muito pequena. O profissional até comentou que “se eu tivesse participado antes eu teria sugerido uma porta um pouco maior para poder sair o boiler ou outro equipamento”. No caso, tem que desmontar a

cobertura pra poder tirar o boiler caso um dia precisar ser retirado. São essas questões que fui buscando para poder estudar.

[...] tem coisas que envolvem bom senso. Vou te dar um exemplo: imagina um sobrado com três andares, e o cidadão tem lá na laje superior uma caixa d'água. O problema levantado foi por conta do meu aquecedor. [...] Essa caixa d'água tem uma bóia e essa bóia também tem sua vida útil e está sujeito a empenar, uma pane e transbordar água pelo ladrão. Se isso acontecer, o que você faz? Você vai na loja do seu Zé, comprar uma boiazinha e vai lá e troca. Fácil. Legal, voe imagina um sobrado de três andares, onde o cidadão não deixou um alçapão. Não tem um alçapão. Por quê? Por medo, por questão de segurança. Até dei risada. O ladrão ele vai de helicóptero, pousar na casa dele e passar pelo alçapão. É mais fácil ele entrar pelo portão. Mas tudo bem, olha a cabeça. Existiu um profissional por trás disso. Poderia ter alertado. O cara vai descer de helicóptero na sua casa, vai entrar pelo alçapão? E aí, como é que você dá as manutenções nesse andar de cima, dessa casa de máquinas que está lá em cima, que tem a caixa d'água e o nosso boiler? Não tem segredo... ou você compra uma escada que tem 30 metros de altura ou você vai construir os andaimes pra chegar até lá. Agora isso é algo que é um facilitador que poderia ter deixado lá atrás e hoje que você precisa de manutenção não está disposto. O nosso boiler ele tem 5 anos de garantia, mas é um produto que atualmente pode ter uma vida útil de mais de 20 anos. Mas todos que trabalham com água estão sujeitos a vazamentos, que é uma particularidade de quem trabalha com água. Não tem jeito... vamos imaginar que haja um vazamento no nosso reservatório, seja do prazo de garantia, eu preciso acessá-lo. Talvez vai precisar retirar ou restituir para fazer a correção, o cidadão vai e constrói uma torre e fecha, ou seja, ele construiu um cofre. E agora como se vira? Na hora da obra tudo foi fácil, mas dois, três, cinco anos depois... tem que arrebentar uma parede. Porque não foi previsto uma porta de acesso. Então às vezes isso faz parte de bom senso de quem está desenvolvendo a coisa. [...]

O reservatório térmico geralmente para residência é horizontal. O ideal é na vertical, não é por causa da estratificação?

Não necessariamente. O que não é indicado você ter um reservatório na horizontal muito comprido. Por exemplo, hoje nós colocamos assim como limite o comprimento do nosso reservatório em até 2,5m, que é a maior capacidade do mesmo diâmetro de 600 l. Depois nós temos duas medidas de capacidade de 800 e 1000 que a gente

encolhe ele e aumenta o diâmetro. [...] Se você tem uma extensão muito grande a estratificação da água pode ficar meio confusa. Então, o limite na realidade seria menos, mas também envolve mercado e custo. Para você ter uma idéia, existem equipamentos sobretudo de alta pressão, por ser mais robusto por questão da pressurização você pega um projeto para 1000l, então nós encolhemos ele e aumentamos o diâmetro só que existe uma questão do peso da água, não só da pressão. Então você precisa criar uma estrutura quanto mais reforçada, a parede muito mais espessa pra ele não ficar “borrachudo” quando encher de água ele arreja. Ter a resistência dele para suportar. A gente é ‘obrigado’ a fabricar um boiler com uma chapa mais resistente e existem infelizmente, pequenos fabricantes, os artesanais, que só querem ganhar dinheiro porque fazem um boiler de 1000 l que é uma tripa de 5 metros de comprimento, porque aí reduz custo e usa-se uma chapa mais fina. Mas isso não funciona. [...]

PARTE II - Perfil do entrevistado

2.1. Formação profissional

Resposta: Advogado e técnico em edificações e de sistema de aquecimento solar.

2.2 Tempo de experiência profissional

Resposta: 20 anos. Conheci o aquecedor solar como cliente do produto

2.3 Quantos cursos ou treinamentos sobre projeto e instalação de sistema de aquecimento solar você já participou?

Resposta: Sim, vários.

2.4 Em caso afirmativo, qual foi o principal motivo que levou a participar do curso e/ou treinamento sobre sistema de aquecimento solar?

Resposta:

- f. (x) obter informações técnicas sobre o sistema de aquecimento solar*
- g. () indicação de amigos do ramo profissional*
- h. () atender as exigências do cliente*
- i. () preocupação com meio ambiente*
- j. () outros (descrever)_____*

ANEXO E - ENTREVISTA
PROFISSIONAIS ESPECIALIZADOS NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS
DE SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR – EPP - 4

PARTE I – Sistema de Aquecimento Solar (projeto, instalação, operação e manutenção)

1.1 Na sua opinião, de que forma(s) o arquiteto (coordenador de projetos) poderá contribuir na otimização do projeto de SAS?

Resposta: Na realidade eu me interessei em conversar com você pelo seguinte: hoje os arquitetos são uma grande barreira para as energias renováveis. Mesmo a tecnologia de aquecimento de água que é uma tecnologia extremamente comprovada em termos do seu resultado prático e econômico [...] Se o arquiteto não recomenda ao cliente de colocar o sistema de aquecimento solar isso é outra barreira. Ele é a primeira barreira a ser regida. A gente precisa criar uma cultura de aquecimento solar nos arquitetos. Não só no aquecimento solar, mas de tudo. As tecnologias limpas não vão entrar logo de cara assim com 100% de cobertura, mais barata possível, com harmonia arquitetônica nas primeiras versões isso não vai acontecer. E nós aqui em função disso estamos bem atrasados porque pra você ter uma idéia o sistema de aquecimento solar europeu, tem muita coisa embutida na arquitetura da construção. [...] Respondendo à sua pergunta, primeiro ele sabendo dimensionar um sistema ele pode já ter umas tabelas de pré-dimensionamento no caso de edificação de uso residencial. Você pode até usar uns parâmetros da ABRAVA, pra determinar qual é o dimensionamento daquela casa. Então, são tantos cômodos espera-se tantas pessoas, com tal padrão de conforto, água quente pra chuveiros e lavatórios, vou ter água quente na pia da cozinha. [...] nós temos muitos clientes, que depois de um tempo tira e coloca um cardal. Porque a pia da cozinha é um ponto de lavagem de louça, que concorre. Vai consumindo água no mesmo momento que o Sol está gerando. [...] A pessoa está lavando louça durante o dia ou de manhã cedo, na hora do almoço e se a pessoa abre a torneira normalmente num ponto no andar de baixo, que tem boa pressão, tem boa vazão... abre a torneira e esquece aberta ela consome todo o conteúdo. Então a gente tem muito caso de cliente. Pensou na cozinha, pensou na lavanderia, está tudo integrado. Aí vou

imaginar o seguinte, essa família vai consumir uma “litragem” de água quente tantos litros por dia. É o primeiro ponto que precisa ter em mente pra usar o aquecimento solar. Você vai ter um reservatório com esse peso, a gente tem chegado hoje em dia... tem famílias que pedem um sistema de 1000 litros. Então, ela tem uma carga que tem que ser alocada em algum ponto dessa casa. Quando você tem muitos banheiros, pontos espalhados, acontece aquilo que você falou, a gente vai lá e tem uma “briga grande” onde colocar o reservatório para que ele fique o mais eqüidistante possível dos pontos de água quente. Além disso, tem a componente, a pessoa que faz a construção não isola termicamente a hidráulica, que é um ponto importantíssimo mesmo sendo de termoplástico. É necessário isolar a tubulação. O cano termoplástico tem uma perda térmica muito inferior ao de cobre, mesmo assim, muito longe da perda ideal. Então ele perde bastante calor pela parede, tem que ser isolado. E você tem a questão em alguns casos, a economia de água e não de energia, você conseguir fazer um sistema de recirculação. Hoje, pouquíssimas residências tem sistema de recirculação de água. Quando a gente vai até a obra, já está tudo feito na hidráulica. Então, uma coisa importante se o arquiteto pensar nisso durante formatação da casa, pode até chegar numa distância tão próxima dos pontos de consumo que não justifique um sistema de recirculação. Mas senão conseguir porque a casa tem um tamanho muito grande, pelo menos que faça uma recirculação. Porque aí você não tem a questão de um desperdício muito grande de água. Esse é o primeiro ponto, dimensionamento do reservatório e aí o seu peso. Feito isso, tem que saber pelo menos o seguinte, em São Paulo o nosso coletor solar padrão, classificação A de mercado, padrão brasileiro, que é um padrão baixo em termos de padrão internacional você vai produzir mais ou menos 60 litros por m². 100l é em Belo Horizonte onde faz o teste o INMETRO, que tem uma condição solar muito superior a nossa. Aqui em São Paulo para esse tipo de coletor, que tem sua característica construtiva, então você tem lá chapa de alumínio, pintado de preto com tinta comum, e em contato somente com a tubulação e o vidro, vai gerar 60 l por m². Aí você tem coletores com tinta seletiva, com aleta de cobre também, que estão em contato por solda de ultrassom. Então, esse tipo de tecnologia adicional faz com que a gente consiga chegar em 85l/m², aqui em São Paulo, 90 no máximo. Agora tem dois fabricantes chegando no Brasil, um importado da Alemanha e outro projeto feito com empresa brasileira e portuguesa, a fabricação será aqui no Brasil, mas o desenho é padrão europeu. Hoje é um coletor que está instalado no estádio

do Benfica em Portugal. Eles estão puxando o mercado para cima. Se a gente considerar um padrão, trabalhar dessa forma 60l/m². Se forem 500l você tem que prever uma área de mais ou menos de 8m², o mais voltado para o norte possível. Você tendo isso como parâmetro, você já consegue viabilizar a instalação, não precisa dimensionar.

A inclinação? Porque geralmente utiliza a inclinação da própria cobertura. Se for considerar o ideal teria que utilizar um suporte para adequar a inclinação ideal (latitude +10°) ou telhado com declividade de 60%..

Fizemos bastante dimensionamento em relação a isso. Não justifica o custo da estrutura, e o risco da carga de vento do que você vai ganhar. A diferença de um coletor quase plano com um de 33° é muito pouco. Não é totalmente desprezível. No inverno vai fazer diferença de uns 10% de energia a mais. Isso é até relevante, mas o que acontece você vai ter uma situação de risco maior. Porque esse coletor levantado vai ficar sujeito a uma carga de vento, que você terá que ancorar com muito mais força e mesmo assim terá um ponto de manutenção constante. Aí a gente acha que não justifica. A inclinação não é tão critica quanto a orientação. Se você tiver orientado para o sul você não vai ter o que fazer.

1.2 Quais são os principais problemas identificados pelo usuário durante a operação do SAS?

Resposta: Em relação as principais reclamações, elas não diferem de nenhum outro sistema térmico. Primeiramente, dimensionamento. Por exemplo, semana passada fizemos um orçamento para sistema de aquecimento solar para piscina, porque ela é em sistema a gás e não chega a temperatura desejada, porque é mal dimensionado. Vamos especificamente para o sistema de aquecimento solar. O sistema brasileiro é muito simples, que poderia ser proibido em diversos países europeus. Pra você ter uma idéia a gente trabalha com sistema direto, que é a água passou pelo coletor será a água consumida pelo cliente final. Diversos países da Europa, a lei de aquecimento solar obriga sistemas indiretos, aonde a água do sistema de aquecimento não entra em contato com a água do consumidor por diversos outros motivos. Mas o que é importante é o seguinte, eu posso dizer que 100% dos reservatórios térmicos solares nacionais eles vem com uma energia de apoio, vem como uma resistência elétrica embutida. Nos outros países mais avançados é proibido ter energia de apoio dentro do mesmo reservatório de energia solar. Aí você

tem um sistema elétrico de acumulação que é o mais ineficiente possível, o efeito joule aquecendo água. Tipo um chuveiro com a desvantagem de acumular o que vai ser consumido ou não. De repente você viajou aquele boiler mantém o calor por um certo tempo, depois perde e água esfria e depois esquentada de novo. Tem uma outra situação... todo mundo toma banho na casa, o reservatório está com 100% de água fria, só que você só vai tomar banho de maneira significativa no dia seguinte, e vai ter Sol para aquecer aquela água. Se o sistema elétrico estiver ligado ele vai aquecer a água. O que nós fazemos, além de ensinar isso ao cliente, a gente cria um quadro de comando que além de controlar o solar, ele controla o sistema de apoio através de horários. A gente estima o seguinte: quanto tempo é necessário para aquecer o conteúdo de banho para aquela família. Então as 16h da tarde ele recebe energia. O Sol já fez todo trabalho que tinha que fazer. Se o Sol aquecer aquele conteúdo, na hora que receber energia esse reservatório ele tem um termostato interno. Se água estiver já quente, ele não vai deixar entrar ou só vai entrar pra dar o complemento necessário. A gente faz a mesma coisa no dia seguinte de manhã. Ele recebe energia da 4h as 8h da manhã. Isso quer dizer que nesse intervalo se o Sol não aquecer o suficiente ele vai entrar pra dar o complemento. Se já aqueceu ele não vai entrar. Esse comando sempre fica a disposição do usuário se ele quiser desligar. Nós temos clientes que deixa desligado o ano inteiro. Quando aproxima o inverno, ele liga. Ou quando tem a casa cheia, dimensionou para 5 pessoas e tem 10. Ele sabe que tem que usar o apoio. Se você deixar ligado direto, o apoio é muito rápido que o Sol. O que vai aquecer a água será o apoio. O Sol vai começar a trabalhar com água a 50°C. Então a empresa que está instalando e projetando, que não tem esse cuidado de fazer isso e de informar ao usuário isso. Tem muita reclamação que acabei de receber que está gastando mais do que gastava antes. Porque ele tem um sistema elétrico muito ineficiente. Em termos de aquecimento solar, esse é o grande ponto a ser levado em consideração. Em países europeus, as soluções são sempre com dois reservatórios separados. O solar é exclusivo e o outro reservatório é o que tem apoio. Normalmente um reservatório solar grande, e um apoio pequenininho pra dar só uma reposição rápida, pra aquecer o que é necessário. Aqui não, a gente utiliza um único reservatório, então você cai nesse problema. Mesmo quando você usa apoio a gás, pra fazer o gás aquecer a água, tem que ter o mesmo cuidado. Se não tiver, o sistema de aquecimento a gás é muito mais rápido que o Sol. O resto dos problemas, por

exemplo... a gente tem um fornecimento de energia muito ruim aqui em São Paulo. A Eletropaulo fornece energia muitas vezes fora do padrão de tensão. Aí queima o termostato, aí o sistema não funciona. Mas queima o termostato do aquecedor à gás, do aquecedor elétrico, do aquecedor solar, entendeu? São problemas inerentes ao sistema de aquecimento. Agora esse que eu acabei de falar é específico do sistema de aquecimento solar, porque se você não programar o usuário tem aquela expectativa que vai economizar e não terá a economia.

1.3 Nos casos em que a área disponível para implantação dos coletores solares está direcionada estritamente na face sul, quais são as possibilidades para viabilizar a instalação dos mesmos?

Resposta: Aí você teria que fazer realmente uma estrutura pra virar pro lado norte, que pode ser em termos de arquitetura um negócio bem feito. Você tem a alternativa de tubos a vácuo, como eles tem superfície arredondada, não está tão sujeito a reflexão do raio do que coletor de placa plana. Mas eu não conheço tão profundamente para poder falar sobre isso. E tem os coletores termoplásticos, que são os mais utilizados para aplicação de piscina, não tem essa “neura”. A gente tem uma instalação gigante aqui na Aclimação, uma academia de ginástica virada para o sul. Tem pouca inclinação, 15°. Mas mesmo assim, ela está totalmente virada para o sul. E como ela é termoplástico... qual é a grande questão da orientação? É justamente o raio solar, incide na direção do sol. Se ele tiver aqui ele vai refletir e vai absorver muito pouco da placa. A placa de termoplástico não, bateu nela ela está absorvendo. Não importa a direção. [...] Estão saindo agora algumas placas de termoplásticos para banho com cobertura, com vidro, com policarbonato.

Tem o painel termodinâmico, mesmo princípio do ar condicionado [...] como está o mercado em relação a isso?

Também é uma aplicação portuguesa. Tem um fabricante nacional que fez parceria. É tipo um gás que quando aquecido muda de estado, acho que fica gasoso na verdade. Ele fica líquido quando esfriado, esse gás sobe e aí ele se esfria, vira líquido e desce de novo. E fica nesse ciclo enquanto batendo o sol. É um sistema indireto. Tem um fabricante trazendo para o Brasil isso daí. É um sistema mais caro, e tem a vantagem de não estar sujeito a situação de congelamento. É mais uma opção.

1.4 Como funciona o processo de compatibilização de projeto entre os demais sistemas (hidráulico, elétrico, estrutural, arquitetônico)?

Resposta: Quando a gente está lidando com construtoras, com projeto de grande porte, envolve arquiteto, envolve engenheiros, as interfaces são coordenadas. Mas essa cultura não existe muito ainda, está desenvolvendo agora com a lei solar. No mercado residencial dificilmente eu vejo um projeto hidráulico e elétrico. Normalmente, o proprietário está trabalhando juntamente com o empreiteiro. Aí tem isso, não contrata nem engenheiro pra fazer a obra. A esmagadora maioria das pessoas fazendo casas de alto padrão conversa direto com o empreiteiro, que é aquele cara que constrói há 20 anos do mesmo jeito. [...] Eles tem vício em relação a hidráulica, uma das coisas que e te falei, o isolamento térmico, eles não colocam, nem sabem o que é recirculação, as vezes o cliente quer pressurização e eles não fazem hidraulica separada. Pressuriza a rede do vaso sanitário.[...] muitas vezes o cliente pensa em colocar complemento a gás. Porque no auge do inverno, o aquecedor a gás é o que consegue resolver o problema da água fria numa maior velocidade. E aí eles não dimensionam adequadamente a rede de gás. [...] não dá pra usar o aquecedor a gás ou coloca um tubo pequeno de gás que abastece o aquecedor em comum com o gás da cozinha, e não dá conta. É o tipo de problema que a gente enfrenta constantemente. Entra fortemente a questão do arquiteto. Porque tem muita gente que faz o desenho com o arquiteto, e depois vai construir por conta própria. [...]. Eu acho que deveria ter algumas recomendações, diretrizes em relação a isso, pelo menos hidráulica e elétrica. [...] A tubulação hidráulica de água quente com tal material, com isolamento térmico, rede com gás, rede de cabeamento prevendo ponto no telhado. Quer ver uma coisa que as construções não pensam... a manutenção. Eu tenho um cliente que a gente fez semana passada, em Mairiporã, num condomínio de alto padrão, nós fomos até para finalizar a entrega final e fazer o orçamento do aquecimento da piscina. Eles fizeram uma área técnica na cobertura fechada para colocar o sistema solar e a caixa d'água ali dentro, sem uma porta de acesso. [...] exige do seu empreiteiro pelo menos uma porta de acesso, porque é uma área técnica. Pode dar um problema na bóia da caixa d'água, pode dar problema na tubulação ou na resistência elétrica. Você mesmo tem que ir lá de madrugada rapidamente.. Como vai fazer?

1.5 Quais são os métodos utilizados para elaboração do estudo de sombreamento (geometria descritiva, software, visita técnica)?

Resposta: Tem um software canadense Rettscreem, eu utilizo bastante. Dá uma boa diretriz.

1.6 Quais são os métodos utilizados para elaboração do estudo de sombreamento (geometria descritiva, software, visita técnica)?

Resposta: Visita técnica e a gente tem que desenhar. Tem alguns softwares que dá isso, o próprio rettscreem parte sombreamento. Mas a gente faz o cálculo pelo desenho mesmo [...]

1.7 Quais são os dispositivos utilizados para fixação dos coletores? Qual material é utilizado para impermeabilização da cobertura, visando a estanqueidade do sistema?

Resposta: Fio de cobre, perfil de alumínio e fita metálica perfurada. Se você furar um telhado, você tem que usar algum tipo de material que vá agüentar a intempérie. Mesmo assim, de dois em dois ano você tem que refazer a vedação. Então é assim, o que é mais amplamente utilizado, fio de cobre rígido. A gente utiliza ele sem precisar furar, você levanta a telha e amarra embaixo. Esse é o mais amplamente aceito. É uma boa fixação, você consegue esconder bem no telhado, tem uma boa resistência e principalmente, quando a telha está presa, a placa está sob o telhado você tem o efeito do vento muito minimizado. Então, o fio de cobre rígido, é uma solução razoável que pode ser utilizada em 99% dos casos. Aí nós temos a situação, quando você não tem telhado, uma laje plana onde o mais utilizado é justamente o pilarete de concreto com uma estrutura de alumínio. Aí você faz o pilarete de concreto para dar peso e não precisar furar a laje. Alguns clientes a gente conseguiu antes da obra convencê-los a usar chumbador químico, que consiste fazer um furo na laje, aí coloca uma química tipo uma cola, que vai grudar na laje fazendo uma vedação. Uma barra enroscada tipo pra fora, passa a impermeabilização e passa o piso de acabamento. Você faz tudo isso, e fica no final uma rosca para fora, com arranque de mais de 1 tonelada. Aí você coloca o alumínio. Fica super leve, super tranquilo, fácil de instalar, fácil de tirar, fácil de manter. É uma solução melhor que do pilarete de concreto, que precisa fazer forma, vai desperdiçar madeira pra fazer forma e não está ancorado no telhado. Quem ancora é o peso dele. Você tem que

dimensionar bem o pilarete para que ele possa segurar o peso da estrutura. É diferente de uma estrutura que está enroscada no telhado. A maioria das pessoas não fazem isso. A gente sugere. Muita gente fica com medo de furar a laje em função do furo. As construtoras estão fazendo bastante disso, fura e coloca o chumbador químico, que fica mais limpo do que o pilarete [...]

1.8 Na sua opinião, quais são os principais fatores que influenciam na falta de manutenção preventiva por parte dos usuários?

Resposta: É uma pergunta bastante importante. É a falta de conhecimento e a questão do sistema de apoio, principalmente quando ele está embutido no próprio reservatório. Porque tem muita gente que a gente vê por aí, que as placas estão com vidro quebrado, que admite chuva e umidade, e aí você estraga o isolamento praticamente você não tem mais placa. Ela só vai aquecer um pouquinho no verão, no inverno não funciona. Só que a pessoa já se acostumou com aquele padrão de despesa mensal em termos de energia. Como nossa energia elétrica é barata, de certa forma, então, ela não sabe que está pagando R\$120, ao invés de R\$60,00. Esse é um dos problemas que temos do aquecimento solar. O próprio usuário não tem noção que ele está deixando de economizar por não estar dando manutenção preventiva do seu sistema. [...]

Tem sistema automatizado?

Não tem.

PARTE II - Perfil do entrevistado

2.1. Formação profissional

Resposta: administrador

2.2 Tempo de experiência profissional

Resposta: 6 anos

2.3 Quantos cursos ou treinamentos sobre projeto e instalação de sistema de aquecimento solar você já participou?

Resposta: Sim. Curso de projetista de aquecimento do Centro de Estudos de Sevilha.

ANEXO F - ENTREVISTA
PROFISSIONAIS ESPECIALIZADOS NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS
DE SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR – EPP-5

PARTE I – Sistema de Aquecimento Solar (projeto, instalação, operação e manutenção)

1.1 Na sua opinião, de que forma(s) o arquiteto (coordenador de projetos) poderá contribuir na otimização do projeto de SAS?

Resposta: Existe uma linha de impasse entre o que é bom e o que é bonito. Diversos empreendimentos com excelente potencial de implantação do SAS não o utilizam porque não houve uma integração dos coletores solares com o “design” da edificação. Os arquitetos poderiam mobilizar-se de forma a pensar no solar e outras formas de eficiência já na concepção do projeto. Deve haver uma mudança de pensamento, sair do senso comum de que o solar “é feio” e pensar mais no benefício.

1.2 Quais são os principais problemas identificados pelo usuário durante a operação do SAS?

Resposta: O solar é de fácil operação, todo o conjunto é projetado para funcionar sem a intervenção de usuários, apenas em caso de uma manutenção. Como qualquer outro sistema de aquecimento, o solar também demanda uma manutenção preventiva para não parar de funcionar por quebra ou falha.

1.3 Nos casos em que a área disponível para implantação dos coletores solares está direcionada estritamente na face sul, quais são as possibilidades para viabilizar a instalação dos mesmos?

Resposta: A probabilidade de haver um único telhado na edificação e este ser voltado para face SUL é baixíssima, mas de qualquer forma é possível corrigir a orientação geográfica dos coletores através de suportes

.

1.4 Quais são os métodos utilizados para elaboração do estudo de sombreamento (geometria descritiva, software, visita técnica)?

Resposta: Todos acima, visita técnica e análise em simuladores.

1.5 Quais são os dispositivos utilizados para fixação dos coletores? Qual material é utilizado para impermeabilização da cobertura, visando a estanqueidade do sistema?

Resposta: Materiais específicos para vedação de lajes (manta asfáltica, vedacit, etc).

1.6 Na sua opinião, quais são os principais fatores que influenciam na falta de manutenção preventiva por parte dos usuários?

Resposta: Falta de conhecimento e orientação do vendedor de que é necessária a manutenção periódica do sistema assim como no Gás, Elétrico, etc.

PARTE II - Perfil do entrevistado

2.1. Formação profissional

*Resposta: Especialização em Energias Renováveis - USP
Graduado em Economia – Mackenzie
Técnico Eletrotécnico – ETESP
Técnico Instalador Solar – SENAI*

2.2 Tempo de experiência profissional

Resposta: 12 anos

2.3 Quantos cursos ou treinamentos sobre projeto e instalação de sistema de aquecimento solar você já participou?

Resposta: Acima de 15 como participante, uns 7 como professor.

2.4 Em caso afirmativo, qual foi o principal motivo que levou a participar do curso e/ou treinamento sobre sistema de aquecimento solar?

Resposta:

- a) (X) obter informações técnicas sobre o sistema de aquecimento solar*
- b) (X) indicação de amigos do ramo profissional*
- c) (X) atender as exigências do cliente*
- d) (X) preocupação com meio ambiente*
- e) (X) outros (descrever) _____*

Todas as respostas acima e o aperfeiçoamento profissional, atualização, etc.

ANEXO G - ENTREVISTA
PROFISSIONAIS ESPECIALIZADOS NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS
DE SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR – EPP 6

PARTE I – Sistema de Aquecimento Solar (projeto, instalação, operação e manutenção)

1.1 Na sua opinião, de que forma(s) o arquiteto (coordenador de projetos) poderá contribuir na otimização do projeto de SAS?

Resposta: O arquiteto tem papel fundamental na otimização do projeto do SAS. Sem seu empenho e compreensão para compatibilizar os projetos complementares a operação do sistema pode ser prejudicada. Tal profissional deve pré-dimensionar o espaço destinado ao SAS na cobertura de modo que seja possível realizar sua manutenção periódica e o sombreamento de elementos do próprio edifício e dos coletores seja minimizado.

1.2 Quais são os principais problemas identificados pelo usuário durante a operação do SAS?

Resposta: No caso de sistemas de pequeno porte há casos de vazamento nas conexões da tubulação entre coletores e reservatório. Em sistemas de grande porte, existem relatos de tempos de espera superiores a 60 segundos.

1.3 Nos casos em que a área disponível para implantação dos coletores solares está direcionada estritamente na face sul, quais são as possibilidades para viabilizar a instalação dos mesmos?

Resposta: Depende da localização do edifício. Em cidades de latitudes baixas (ou próximas ao Equador) é possível que a instalação dos coletores para a face sul permita o aquecimento da água em alguns períodos do ano. No caso de cidades em latitudes mais altas (como no Sul e Sudeste do Brasil) talvez não seja viável a instalação do SAS, já que seu custo-benefício seria muito baixo.

1.4 Quais são os métodos utilizados para elaboração do estudo de sombreamento (geometria descritiva, software, visita técnica)?

Resposta: A análise de sombreamento desenvolvida no projeto de Avaliação de Sistemas de Aquecimento Solar do Brasil – convênio ECV-184/2006, celebrado entre a Eletrobras/Procel e a PUC Minas, através do Green Solar – é realizada no software Autodesk Ecotect, através do Cálculo de Sombreamento anual do programa e Scripting desenvolvido pela equipe do Green Solar em 2007. Todas as obras pesquisadas foram modeladas no programa para posterior simulação computacional.

1.5 Quais são os dispositivos utilizados para fixação dos coletores? Qual material é utilizado para impermeabilização da cobertura, visando a estanqueidade do sistema?

Resposta: Os coletores são fixados em suportes metálicos, pintados e inclinados de acordo com definição de projeto. No caso de edificações a cobertura geralmente já é encontrada impermeabilizada. Foram encontrados casos de coberturas com piso cerâmico instalado, mas sua ocorrência é baixa.

Já para residências em que o SAS será instalado na cobertura de telha cerâmica, todos os furos são vedados com silicone.

1.6 Na sua opinião, quais são os principais fatores que influenciam na falta de manutenção preventiva por parte dos usuários?

Resposta: Um dos principais fatores é a falta de conhecimento da necessidade da manutenção periódica. Outro fator que influencia a falta de manutenção são as condições de acessibilidade ao SAS, que muitas vezes é perigosa para o responsável ou simplesmente inexistente.

PARTE II - Perfil do entrevistado

2.1. Formação profissional

Resposta: Arquiteta e Urbanista

2.2 Tempo de experiência profissional

Resposta: 6 anos

2.3 Quantos cursos ou treinamentos sobre projeto e instalação de sistema de aquecimento solar você já participou?

Resposta: 3 cursos

2.4 Em caso afirmativo, qual foi o principal motivo que levou a participar do curso e/ou treinamento sobre sistema de aquecimento solar?

Resposta:

- a. () obter informações técnicas sobre o sistema de aquecimento solar*
- b. () indicação de amigos do ramo profissional*
- c. () atender as exigências do cliente*
- d. () preocupação com meio ambiente*
- e. (X) outros (descrever) Trabalho direto em pesquisas e projetos de SAS*